数控加工刀具及其选用技术

苏宏志 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

数控加工刀具及其选用技术

主编　苏宏志
参编　刘艳申　崔　静

机　械　工　业　出　版　社

本书从数控加工生产实际的角度出发，以切削过程的基本理论为基础，以掌握数控机床刀具合理使用技术、发挥数控机床效能为目标，阐述了数控加工的切削基础、刀具材料的种类及其选用原则，以及数控刀具的特点等基本知识，分析了数控车削刀具、数控铣削刀具和孔加工刀具的种类、特点及合理使用的技术。同时，结合国内外数控工具系统的最新发展成果，介绍了数控工具系统等方面的知识及相关标准。全书共7章，分别为绪论、数控刀具基础、数控刀具材料、数控车削刀具、数控铣削刀具、数控加工中孔加工刀具、数控工具系统。

本书适合高职、中职、技校的数控技术应用、模具、机电一体化专业学生使用和从事数控加工的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

数控加工刀具及其选用技术/苏宏志主编. —北京：机械工业出版社，2014.4

ISBN 978-7-111-46100-5

Ⅰ.①数… Ⅱ.①苏… Ⅲ.①数控刀具 Ⅳ.①TG729

中国版本图书馆CIP数据核字（2014）第046184号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
策划编辑：周国萍 责任编辑：周国萍 舒 雯
版式设计：赵颖喆 责任校对：陈延翔
封面设计：陈 沛 责任印制：李 洋
高教社（天津）印务有限公司印刷
2014年6月第1版第1次印刷
169mm×239mm · 13.25印张 · 252千字
0 001—3000册
标准书号：ISBN 978-7-111-46100-5
定价：35.00元
凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
	策划编辑：（010）88379733
社服务中心：(010)88361066	教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：(010)68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：(010)88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)88379203	**封面无防伪标均为盗版**

前　言

数控刀具的发展水平，对数控技术的发展有着极大影响。现代多功能复合型刀具、新材料刀具及涂层刀具的大量使用，使数控技术朝着高速、高效、高精度、高可靠性及绿色制造方向发展。数控机床刀具的性能、质量和可靠性及刀具管理系统的水平，直接影响到我国制造业数百万台昂贵的数控机床生产效率的高低和加工质量的好坏，也直接影响整个机械制造工业的生产技术水平和经济效益。目前，我国先进数控刀具生产不足及管理系统水平的低下，成为制约我国制造业发挥数控机床加工效率的“瓶颈”。只有先进的数控机床，没有与之相配套的先进刀具、工具系统和刀具管理系统，或者没有掌握刀具的合理使用技术，数控机床的效能就得不到充分发挥。本书正是从数控加工生产实际的角度出发，以切削过程的基本理论为基础，以掌握数控机床刀具合理使用技术、发挥数控机床效能为目标，在介绍数控加工的切削基础、刀具材料的种类及其选用原则，以及数控刀具的特点等基本知识的基础上，分析了数控车削刀具、数控铣削刀具和孔加工刀具的种类、特点及合理使用的技术。同时，结合国内外数控工具系统的最新发展成果，介绍了数控工具系统等方面的知识及相关标准。全书系统性、综合性强，与生产实践联系紧密。

本书适合高职、中职、技校的数控技术应用、模具、机电一体化专业学生学习和从事数控加工的工程技术人员参考。

本书由陕西工业职业技术学院苏宏志担任主编，第1、2章由陕西工业职业技术学院刘艳申编写，第3、4章由陕西工业职业技术学院崔静编写，第5、6、7章由陕西工业职业技术学院苏宏志编写。全书由苏宏志负责统稿和定稿。

在本书的编写过程中，咸阳机床厂王彦宏总工程师为本书的编写提出了许多宝贵的意见，并提供了丰富的资料，在此表示感谢。由于编者水平有限，数控刀具和工具系统技术发展迅速，书中难免有不足之处，望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编　者

目　　录

前言
第 1 章　绪论 …… 1
1.1　数控加工对刀具的要求 …… 1
1.2　数控刀具国内外发展状况 …… 4
1.2.1　数控刀具的种类 …… 4
1.2.2　数控刀具技术的现状 …… 7
1.2.3　我国数控刀具技术的发展现状 …… 9
第 2 章　数控刀具基础 …… 11
2.1　刀具的基本概念 …… 11
2.2　刀具的结构 …… 13
2.2.1　刀具切削部分的组成和角度 …… 13
2.2.2　合理选择刀具切削刃部结构形式 …… 16
2.2.3　刀具装夹部分的结构形式 …… 26
2.3　数控可转位刀具 …… 31
2.3.1　可转位刀具的基本概念 …… 31
2.3.2　可转位刀片的型号及表示方法 …… 32
2.3.3　可转位刀片的夹紧方式和典型结构 …… 40
2.3.4　可转位刀片的选用 …… 45
第 3 章　数控刀具材料 …… 48
3.1　数控加工对刀具材料的要求 …… 48
3.2　高速钢刀具材料的种类、性能和特点 …… 50
3.2.1　普通高速钢 …… 50
3.2.2　高性能高速钢 …… 51
3.2.3　粉末冶金高速钢 …… 52
3.2.4　涂层高速钢 …… 52
3.2.5　高速钢刀具的选用 …… 53
3.3　硬质合金刀具材料的种类、性能和特点 …… 55
3.3.1　硬质合金的性能及牌号表示方法 …… 55
3.3.2　普通硬质合金的种类、牌号及适用范围 …… 55
3.3.3　超细晶粒硬质合金 …… 58

3.3.4　涂层硬质合金 …… 59
3.4　新型刀具材料的种类、性能和特点 …… 60
3.4.1　陶瓷刀具材料 …… 60
3.4.2　金刚石刀具材料 …… 63
3.4.3　立方氮化硼刀具材料 …… 66
3.5　数控刀具材料的选择 …… 69
第4章　数控车削刀具 …… 71
4.1　车刀的种类和用途 …… 71
4.2　机夹可转位车刀代码 …… 73
4.2.1　机夹可转位车刀刀片代码 …… 73
4.2.2　机夹可转位外圆和内孔车刀代码 …… 74
4.2.3　机夹可转位式螺纹车刀代码 …… 89
4.2.4　其他机夹可转位式车刀代码 …… 93
4.3　车削加工刀具的选择 …… 94
4.3.1　刀片材质的选择 …… 94
4.3.2　刀片形状的选择 …… 100
4.3.3　主切削刃法后角的选择 …… 101
4.3.4　精度选择 …… 103
4.3.5　刀片夹固形式与有无断屑槽的选择 …… 103
4.3.6　刀片尺寸大小与厚度的选择 …… 103
4.3.7　断屑槽的选择 …… 105
4.3.8　选择可靠的刀片夹紧结构 …… 112
第5章　数控铣削刀具 …… 113
5.1　概述 …… 113
5.1.1　铣刀的种类和用途 …… 113
5.1.2　铣刀的几何参数 …… 114
5.2　数控加工中常用铣刀及代码 …… 119
5.2.1　数控可转位铣刀刀片及铣刀代码 …… 119
5.2.2　面铣刀 …… 122
5.2.3　立铣刀 …… 128
5.2.4　其他铣刀 …… 135
5.3　可转位铣刀的合理选用 …… 141
5.3.1　可转位铣刀的结构 …… 141
5.3.2　可转位铣刀的角度选择 …… 142
5.3.3　可转位铣刀的齿数（齿距） …… 144
5.3.4　可转位铣刀的直径 …… 144

5.3.5　刀片牌号的选择 …… 145
第6章　数控加工中孔加工刀具 …… 147
6.1　孔加工刀具的种类及孔加工的方法及特点 …… 147
6.1.1　孔加工刀具的种类 …… 147
6.1.2　孔加工的方法及特点 …… 150
6.2　麻花钻 …… 150
6.2.1　高速钢麻花钻 …… 150
6.2.2　硬质合金麻花钻 …… 157
6.3　深孔钻 …… 160
6.3.1　单刃外排屑深孔钻 …… 161
6.3.2　内排屑深孔钻 …… 162
6.3.3　喷吸钻 …… 163
6.4　镗刀 …… 164
6.4.1　粗镗刀 …… 164
6.4.2　精镗刀 …… 165
6.5　铰刀 …… 167
6.5.1　高速钢铰刀 …… 167
6.5.2　硬质合金铰刀 …… 169
6.5.3　铰刀的选择 …… 170
第7章　数控工具系统 …… 173
7.1　概述 …… 173
7.1.1　数控加工中的刀具快换 …… 173
7.1.2　数控工具系统概念 …… 174
7.1.3　机床与工具系统的接口 …… 175
7.2　镗铣类数控机床工具系统的接口及其标准 …… 176
7.2.1　锥度为7∶24的通用刀柄 …… 176
7.2.2　锥度为1∶10的HSK刀柄 …… 184
7.3　镗铣类数控机床工具系统 …… 187
7.3.1　整体式工具系统 …… 187
7.3.2　模块式工具系统 …… 195
7.4　数控车削工具系统 …… 201
7.4.1　数控车削整体式工具系统的特点 …… 201
7.4.2　数控车削模块式工具系统的特点 …… 202
参考文献 …… 205

第 1 章　绪　　论

1.1　数控加工对刀具的要求

1. 概述

现代数字化制造技术的蓬勃发展，以“高精度、高效率、高可靠性和专用化”为特点的数控机床和加工中心等高效设备应用日渐普及，在航空航天、汽车、高速列车、风电、电子、能源、模具等装备制造业的空前发展推动下，切削加工已迈入了以高速、高效和环保为标志的高速加工发展的新时期。高速切削、干切削和硬切削作为当前切削技术的重要发展方向，其重要地位和角色日益凸显。这些先进切削技术的应用，不仅使加工效率成倍提高，也推动了刀具技术的发展。随着各种新型材料刀具的出现，如聚晶金刚石刀具（PCD）、聚晶立方氮化硼刀具（PCBN）、CVD 金刚石刀具、纳米复合刀具、纳米涂层刀具、晶须增韧陶瓷刀具、超细晶粒硬质合金刀具、TiC（N）基硬质合金刀具、粉末冶金高速钢刀具等，使先进的数控机床加工设备在与高性能的数控刀具相配合中，才发挥了巨大的效能，取得了良好的经济效益。

数控刀具是指与数控机床（如加工中心、数控车床、数控镗铣床、数控钻床、自动线及柔性制造系统等）相配套使用的各种刀具的总称，是数控机床不可缺少的关键配套产品，数控刀具以其高效、精密、高速、耐磨、寿命长和良好的综合切削性能取代了传统刀具。表 1-1 为传统刀具与现代数控刀具的比较。

表 1-1　传统刀具与现代数控刀具的比较

项　　目	传统切削刀具	数控刀具
刀具材料	普通工具钢、高速钢、焊接硬质合金等	PCD、PCBN、陶瓷、涂层刀具、超细晶粒硬质合金、TiCN 基硬质合金、粉末冶金高速钢等
刀具硬度	低	高
被加工工件硬度	低	高，可对高硬材料实现“以车代磨”
切削速度	低	可转位涂层刀片加工钢、铸铁，切削速度可达 380m/min；PCBN 刀片加工铸铁，切削速度可达 1000～2000m/min；PCD 刀具加工铝合金，切削速度可达 5000m/min 或更高

（续）

项　　目	传统切削刀具	数控刀具
刀具消耗费用和金属切除比较	传统高速钢刀具约占全部刀具费用的65%，切除的切屑仅占总切屑的28%	可转位刀具、硬质合金刀具及超硬刀具占全部刀具费用的34%，切除的切屑占总切屑的68%
刀具使用机床	一般金属切削机床	数控车床、数控铣床、加工中心、流水线专机、柔性生产线等
资金投入和企业规模	以通用机床和专机为主，追求低成本，劳动密集	以数控机床为主，追求差异化，多品种、小批量，属于知识、人才和资金密集型

2. 数控加工对刀具的要求

数控加工具有高速、高效和自动化程度高等特点，数控刀具是实现数控加工的关键技术之一。为了适应数控加工技术的需要，保证优质、高效地完成数控加工任务，对数控加工刀具提出了比传统加工用刀具更高的要求，它不仅要求刀具耐磨损、寿命长、可靠性好、精度高、刚性好，而且要求刀具尺寸稳定、安装调整方便等。数控加工对刀具提出的具体要求如下：

（1）刀具材料应具有高的可靠性　数控加工在数控机床或加工中心上进行，切削速度和自动化程度高，要求刀具应具有很高的可靠性，并且要求刀具的寿命长、切削性能稳定、质量一致性好、重复精度高。

解决刀具的可靠性问题，成为数控加工成功应用的关键技术之一。在选择数控加工刀具时，除需要考虑刀具材料本身的可靠性外，还应考虑刀具的结构和夹固的可靠性。

（2）刀具材料应具有高的耐热性、抗热冲击性和高温力学性能　为了提高生产效率，现在的数控机床向着高速度、高刚性和大功率发展，切削速度的增大，往往会导致切削温度的急剧升高。因此，要求刀具材料的熔点高、氧化温度高、耐热性好、抗热冲击性能强，同时还要求刀具材料具有很高的高温力学性能，如高温强度、高温硬度、高温韧性等。

（3）数控刀具应具有高的精度　在数控加工生产中，被加工零件要求在一次装夹后完成其加工精度。因此，要求刀具借助专用对刀装置或对刀仪，调整到所要求的尺寸精度后，再安装到机床上应用。这样就要求刀具的制造精度要高。尤其在使用可转位结构的刀具时，刀片的尺寸公差、刀片转位后刀尖空间位置尺寸的重复精度，都有严格的精度要求。

（4）数控刀具应能实现快速更换　数控刀具应能与数控机床快速、准确地接合和脱开，并能适应机械手和机器人的操作，并且要求刀具互换性好、更换迅速、尺寸调整方便、安装可靠，以减少因更换刀具而造成的停顿时间。刀具的尺

寸应能借助于对刀仪在机外进行预调，以减少换刀调整的停机时间。现在的数控加工中心多采用自动换刀装置。

（5）数控刀具应系列化、标准化和通用化　尽量减少刀具规格，以利于数控编程和便于刀具管理，降低加工成本，提高生产效率，建立刀具准备单元，进行集中管理，负责刀具的保管、维护、预调、配置等工作。

（6）数控刀具大量采用机夹可转位刀具　由于机夹可转位刀具能满足耐用、稳定、易调和可换等要求，目前，在数控机床及加工中心等设备上，广泛采用机夹可转位刀具结构。机夹可转位刀具在数量上已达到整个数控刀具的 30% ~40%。图 1-1 所示为可转位车刀的刀头。

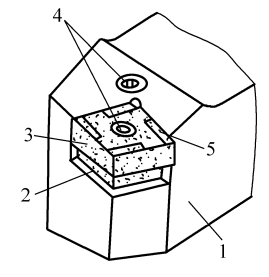


图 1-1　可转位车刀的刀头
1—刀杆　2—刀垫　3—刀片
4—夹固元件　5—断屑槽

（7）数控刀具大量采用多功能复合刀具及专用刀具　为了充分发挥数控机床的技术优势，提高加工效率，对复杂零件加工要求在一次装夹中进行多工序的集中加工，并淡化传统的车、铣、镗、螺纹加工等不同切削工艺的界限，是提高数控机床效率、加快产品开发的有效途径。为此，对数控刀具提出了多功能（复合刀具）的新要求，要求一种刀具能完成零件不同工序的加工，减少换刀次数，节省换刀时间，减少刀具的数量和库存量，便于刀具管理。如镗铣刀、钻铣刀等，使原来需要多道工序、几种刀具才能完成的工序，在一道工序中由一把刀完成，不仅提高了生产效率，保证了加工精度，而且明显减少了刀具数量。图 1-2 所示为半精镗、精镗机油泵孔及孔口倒角用的可转位复合镗刀。

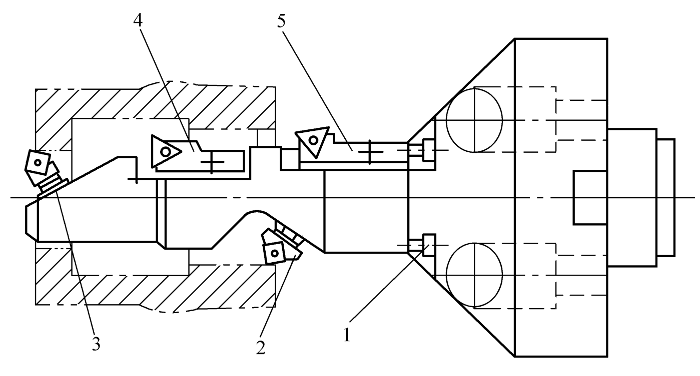


图 1-2　半精镗、精镗机油泵孔及孔口倒角用的可转位复合镗刀
1—刀体　2、3—微调镗刀头　4、5—小刀夹

（8）数控刀具应能可靠断屑或卷屑　为了保证自动生产的稳定进行，数控

加工对切屑处理有更高的要求。切削塑性材料时，切屑的折断与卷曲，常常是决定数控加工能否正常进行的重要因素。因此，数控刀具必须具有很好的断屑、卷屑和排屑性能。要求切屑不能缠绕在刀具或工件上、切屑不影响工件的已加工表面、不妨碍后续工序进行。数控刀具一般都采取了一定的断屑措施（如可靠的断屑槽型、断屑台和断屑器等），以便可靠断屑或卷屑。

（9）数控刀具材料应能适应难加工材料和新型材料加工的需要　随着科学技术的发展，对工程材料提出了越来越高的要求，各种高强度、高硬度、耐腐蚀和耐高温的工程材料越来越多地被采用。它们中多数属于难加工材料，目前难加工材料已占工件的40%以上。因此，数控加工刀具应能适应难加工材料和新型材料加工的需要。

1.2　数控刀具国内外发展状况

1.2.1　数控刀具的种类

近年来，快速发展的数控加工工艺技术促进了数控刀具结构基础科研和新产品的研发。世界各大厂商生产的数控机床用刀具种类、规格繁多，数量庞大，往往令人眼花缭乱，不得要领。一般情况下，数控加工刀具可分为常规刀具和模块化刀具两大类。模块化刀具是发展方向，其主要优点：其一提高刀具的标准化，加快换刀及安装时间，减少停机时间，提高生产加工时间；其二扩大刀具的利用率，充分发挥刀具的性能，提高刀具的管理及柔性加工水平，有效地消除刀具测量工作的加工中断现象。随着模块化刀具的发展，数控刀具已形成了三大系统，即车削刀具系统、钻削刀具系统和镗铣刀具系统。具体使用中，数控刀具根据不同原则可以分为以下几类：

1. 从结构上分

（1）整体式　是指刀具切削部分和夹持部分为一体结构的刀具。

（2）镶嵌式　又可分为焊接式和机夹式。机夹式根据刀体结构不同，分为可转位和不转位。

（3）减振式　当刀具的工作臂长度与直径之比较大时，为了减少刀具的振动，提高加工精度，多采用此类刀具。

（4）内冷式　切削液通过刀体内部由喷孔喷射到刀具的切削刃部。

（5）特殊形式　如复合刀具、可逆攻螺纹刀具等。

2. 从切削工艺上分

（1）车削刀具　常规车削刀具分外圆、内孔、外螺纹、内螺纹、切槽、切端面、切端面环槽、切断等刀具。数控车床一般使用标准的机夹可转位刀具，机

夹可转位刀具的刀片和刀体都有标准，刀片材料采用硬质合金、涂层硬质合金及高速钢。从切削方式上分为三类：圆表面切削刀具、端面切削刀具和中心孔类刀具。

（2）铣削刀具　铣削刀具是用于铣削加工的、具有一个或多个刀齿的旋转刀具。工作时各刀齿依次间歇地切去工件的余量。铣刀主要用于在铣床上加工平面、台阶、沟槽、成形表面和切断工件等。常用的有面铣刀、立铣刀、三面刃铣刀等刀具。

面铣刀（也叫端铣刀）是圆周表面和端面上都有切削刃，端部切削刃为副切削刃，结构形式有套式镶齿结构和刀片机夹可转位结构，刀齿材料为高速钢或硬质合金，刀体多为40Cr。立铣刀是数控机床上用得最多的一种铣刀，它的圆柱表面和端面上都有切削刃，可同时进行切削，也可单独进行切削，结构有整体式和机夹式等。三面刃铣刀通常在卧式铣床上使用，其外圆和两个端面靠近外圆的部位都有切削刃（像宽锯齿状），所以称为三面刃铣刀。铣削时主要利用刀具周边的切削刃进行切削，常用于铣槽和切断。铣削刀具除上面提到的三种外，还有模具铣刀、键槽铣刀、鼓形铣刀、成形铣刀等其他种类。

（3）孔加工刀具　孔加工刀具分为孔粗加工、孔精加工、螺纹加工等刀具，可在数控车床、车削中心、数控镗铣床和加工中心上使用。它的结构和联接形式有直柄、锥柄、螺纹联接、模块式联接（圆锥或圆柱联接）等多种。

3. 从制造所采用的材料分

（1）高速钢刀具　高速钢通常是型坯材料，韧性较硬质合金好，硬度、耐磨性和热硬性较硬质合金差，不适于切削硬度较高的材料，也不适于进行高速切削。高速钢刀具使用前需生产者自行刃磨，且刃磨方便，适于各种特殊的非标准刀具。

（2）硬质合金刀具　硬质合金刀片切削性能优异，在数控车削中广泛使用。硬质合金刀片有标准规格系列产品，具体技术参数和切削性能由刀具生产厂家提供。

硬质合金刀片按国际标准分为三大类：P类，M类，K类。

1）P类——适于加工钢、长屑可锻铸铁，相当于我国的YT类。

2）M类——适于加工奥氏体不锈钢、铸铁、高锰钢、合金铸铁等，相当于我国的YW类。

3）K类——适于加工铸铁、冷硬铸铁、短屑可锻铸铁、非钛合金，相当于我国的YG类。

（3）陶瓷刀具　陶瓷刀具是利用属于非金属材料的特种陶瓷原料加工而成，由于控制了原料纯度和颗粒尺寸细化，并添加了各种碳化物、氮化物、硼化物和氧化物等改善其性能，同时通过颗粒、晶须、相变、微裂纹和几种增韧机理的协

同作用，提高其断裂韧度，不仅使抗弯强度提高到0.9～1.0GPa（高的可达1.3～1.5GPa），而且断裂韧度和抗冲击性能都有很大提高，应用范围日益扩大。除可用于一般的精加工和半精加工外，也可用于冲击负荷下的粗加工，在国际上是公认的提高生产效率最有潜质的刀具。

（4）立方氮化硼刀具　立方氮化硼刀具是指用立方氮化硼（Cubic Boron Nitride，CBN）做成切削部分的刀具。立方氮化硼是氮化硼BN的同素异构体之一，结构与金刚石相似，是用超高温超高压技术人工合成的超硬材料。其硬度仅次于金刚石（显微硬度可达8000～9000HV），且热稳定性高（达1250～1350℃），对铁族元素化学惰性大，抗黏结能力强，用金刚石砂轮即可磨削开刃，故适于加工35HRC以上的硬质材料，如各种淬硬钢（碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、轴承钢、模具钢等）、冷硬铸铁、钴基和镍基高温合金、硬质合金、表面喷涂（焊）材料等高硬及耐磨材料，也可用于钛合金、纯镍、纯钨及其他材料的加工。用立方氮化硼刀具加工淬硬钢的表面粗糙度值可达*Ra*0.4～1.6μm，精度可达IT6～IT7。

（5）金刚石刀具　可以制成切削刀具的金刚石材料有天然单晶金刚石和人造聚晶金刚石两类。天然单晶金刚石硬度达9000～10000HV，是自然界中最硬的物质。这种材料耐磨性极好，制成刀具在切削中可长时间保持尺寸的稳定，故而有很长的刀具寿命。天然金刚石刀具刃口可以加工到极其锋利，可用于高速超精加工有色金属及其合金，如铝、黄金、巴氏合金、铍铜、紫铜等。天然金刚石材料韧性很差，抗弯强度很低，仅为0.2～0.5GPa。热稳定性差，温度达到700～800℃时就会失去硬度，温度再高就会碳化。另外，它与铁的亲和力很强，一般不适于加工钢铁。

人造聚晶金刚石（Poly Crystalline Diamond，PCD）是在高温高压下将金刚石微粉加溶剂聚合而成的多晶体材料。PCD的硬度比天然金刚石低（6000HV左右），但抗弯强度比天然金刚石高很多。另外，通过调整金刚石微粉的粒度和浓度，使PCD制品的力学性能物理性能发生改变，以适应不同材质、不同加工环境的需要。PCD刀具比天然金刚石的抗冲击和抗振性能高出很多。与硬质合金相比，人造聚晶金刚石硬度高出3～4倍，耐磨性和寿命高50～100倍，切削速度可提高5～20倍，表面粗糙度值可达到*Ra*0.05μm，切削效率高，加工精度稳定。PCD同天然金刚石一样，不适合加工钢和铸铁。这种刀具主要用于加工有色金属及非金属材料，如铝、铜、锌、金、银、铂及其合金，还有陶瓷、碳纤维、橡胶、塑料等。

近年来，数控刀具材料新产品的研发在超硬材料（金刚石、TiC基类金属陶瓷、立方氮化硼、Al_2O_3、Si_3N_4基类陶瓷），W、Co类涂层，细颗粒（超细颗粒）硬质合金基体及含Go类粉末冶金高速钢等领域进展速度较快，超硬材料刀

具已和机夹可转位刀具、整体刀具并列为第三大类广泛使用的刀具。图 1-3 所示为机夹可转位刀具、整体刀具及超硬材料刀具分类图。

- 数控刀具
  - 机夹可转位
    - 铣刀
      - 面铣刀
      - 立铣刀 (球头立铣刀)
      - 三面刃铣刀
      - 角度铣刀
      - 成形铣刀
    - 孔加工刀具
      - 镗刀 (单刃、双刃)
      - 钻头 (深、浅孔；内、外冷却；内、外排屑)
      - 铰刀 (单刃、多刃)
      - 扩 (锪) 孔刀具
      - 复合 (组合) 孔加工刀具
    - 车刀
      - 内、外圆车刀
      - 端面车刀
      - 螺纹车刀
      - 成形、仿形车刀
  - 整体刀具
    - 硬质合金 (焊接)
      - 镗刀
      - 钻头 (深、浅孔；内、外冷却；阶梯)
      - 立铣刀
      - 三面刃铣刀(整体、焊接)
      - 铰刀 (单刃、多刃)
      - 复合 (组合) 孔加工刀具
    - 高速钢
      - 钻头 (深、浅孔；内、外冷却；阶梯)
      - 立铣刀
      - 三面刃铣刀(整体、焊接)
      - 铰刀 (单刃、多刃)
      - 复合 (组合) 孔加工刀具
      - 丝锥、板牙、滚 (挤) 压刀具
      - 滚、插、剃齿轮刀具
  - 超硬材料刀具
    - 单晶金钢石车刀 (天然、人造)
    - 聚晶金钢石车刀、镗刀、铰刀、铣刀(成形、平面 三面刃)
    - 聚晶立方氮化硼车刀、镗刀、铰刀、铣刀(成形、平面)
    - 陶瓷 (氧化铝、氮化硅) 车刀、铣刀 (机夹可转位)
    - 金属陶瓷 (钛基) 车刀、铣刀 (机夹可转位、整体立铣刀)
    - CVD刀具(机夹硬质合金刀片、高速钢刀具)
    - PVD刀具(机夹硬质合金刀片、金属陶瓷刀片、整体硬质合金刀片、复合孔加工刀具)

图 1-3　机夹可转位刀具、整体刀具及超硬材料刀具分类图

1.2.2　数控刀具技术的现状

近年来，数控刀具技术发展主要体现在研发一刀多切削功能、提高其切削刃切削性能方面，适应高速（超高速）、硬质（含耐热、难加工）、干式、精细

(超精) 切削及高效率数控机床加工切削技术要求，高速、高效、复合、高精度、高可靠性是先进切削技术对数控刀具提出的要求。数控刀具制造技术的发展主要集中在如下几个方面：刀具材料制造技术、刀具涂层制造技术、刀具结构设计制造技术、连接数控刀具和数控机床的工具系统制造技术等方面。

（1）数控刀具材料“对症下药”，重视超硬超细材料的开发　切削刀具材料是决定刀具切削性能，尤其是刀具切削效率和可靠性的基础。“对症下药”是指针对工件的特点（材料性能、加工余量、批量、要求等）开发匹配的特定材质的刀具，新材料刀具的研发是现代数控刀具一个重要的发展趋势。例如粉末冶金高速钢、钴高速钢、超细颗粒硬质合金及陶瓷、金属陶瓷等材料在数控刀具上得到了迅速推广和广泛应用，尤其是以硬质合金为材质的可转位不重磨刀片近年来发展迅速，在数控刀具应用中占主要份额。其次是随着有色金属材料、有机复合材料甚至木材等切削加工需求的增加，特别是汽车、航空航天、军工、家具制造业的发展，硅铝合金、铝镁合金、复合蜂窝材料零件及淬硬工件的加工，推动了聚晶金刚石（PCD）、立方氮化硼（CBN）等超硬刀具材料制造技术的进步。第三是环保要求的提倡，干切削技术和微量冷却、低温气冷技术应运而生，对切削刀具材料（及涂层）的抗高温性能提出了新要求——优良的高温热稳定性、高温抗黏合性、高温摩擦性能等对实施干切削数控刀具的使用性能至关重要。

（2）数控刀具涂层发展迅速，新涂层层出不穷　刀具涂层是决定刀具切削性能，尤其是刀具切削效率和可靠性的另一项关键技术。涂层刀具相对普通刀具切削效率提高显著，刀具性能改善明显，使用寿命成倍增加，既节省了资源，又降低了成本。近年来，刀具涂层技术发展空前迅猛，新的涂层装备和涂层材料层出不穷。在传统的 TiN、TiC、TiCN、Al_2O_3涂层的基础上，发展了高温热稳定性更好的 TiAlN、TiBN、TiAlBN、CrN、CrC、SN_2等新涂层，以及可改善自润滑性能的软涂层 MoS_2。金刚石涂层、类金刚石涂层及立方氮化硼涂层等也得到了快速发展。纳米涂层在同样的涂层情况下可显著提高涂层性能，备受重视。

目前，切削刀具的涂层工艺主要采用化学涂层（Chemical Vapor Deposition，CVD）和物理涂层（Physical Vapor Deposition，PVD）两大类。由于物理涂层工作温度低，对刀具基体强度影响小，保持刀具几何精度和刃口切削性能好，因此使用较多。

（3）数控刀具和工具系统向高速、复合切削方向发展　数控刀具和可转位数控刀片结构及几何参数的创新优化设计，如新型精密成型的断屑槽型的开发，有效地改善了刀具的切削性能。近年来，数控组合刀具和复合刀具的开发步伐加快，如波状切削刃粗切滚刀和精切滚刀组合、齿轮滚刀和去毛刺刀具组合均使滚削加工效率得到了提高。为了适应复合车铣加工中心的要求，即在工件一次安装中完成平面、圆柱面、孔及螺纹切削加工的要求，开发了满足车铣自动换刀的新

型数控刀具和刀柄。

工具系统是连接数控刀具与数控机床主轴，传递切削运动和动力的接口部件。随着高速高效加工技术发展，传统的采用单面（锥面）约束夹紧、带7∶24锥度的工具系统已经不能满足要求，而HSK工具系统（带有1∶10锥面）得到了推广应用。它采用双面（锥面和端平面）约束夹紧原理，接触刚度和传递扭矩大大提高，具有定位（回转）精度好、允许转速高（≤150000r/min）等特点，使其在高速数控加工设备得到了广泛的应用。

（4）刀具结构设计制造技术发展　近年来，高速切削技术应用和发展给数控刀具结构及其制造技术带来了重大的影响，三维参数化设计技术、基于单元刀具的设计方法、有限元分析方法等新技术在数控刀具设计与分析中得到了广泛应用，推进了可转位刀具设计技术的发展，极大地加快了刀片三维断屑槽形开发，使可转位刀具在车削、铣削、钻削等加工方面得到迅速的发展，同时也使刀杆结构设计得到极大优化、切削负荷分布更加合理。

CIRP（国际生产工程研究学会）曾公布一项研究报告指出“由于刀具材料的改进，刀具的切削速度每隔十年提高一倍；而由于刀具结构和几何参数的改进，刀具的使用寿命每隔十年几乎提高两倍”。采用新型刀具材料可以提高刀具的切削性能，而优化刀具切削部分的几何形状则能充分发挥新型材料的威力。

对于数控切削加工系统而言，必须重视数控刀具制造技术的发展，重视切削机理、数控刀具的设计、材料、制造工艺、刃口强化技术、表面强化技术、数控刀具检测技术以及数控刀具切削数据库等数控刀具制造全过程的技术发展和质量管理。采用先进信息技术，将数控刀具制造闭环系统中各个环节（包括应用）的信息进行集成、分析、诊断、反馈，以提高制造质量和水平，这对于数控刀具制造技术的发展至关重要，对数控切削加工技术的发展也至关重要。

1.2.3　我国数控刀具技术的发展现状

我国数控刀具的研制从20世纪80年代初开始，主要有成都成量工具集团、哈尔滨工量数控有限公司、上海工具有限公司、株洲硬质合金厂、自贡硬质合金厂、成都英格数控刀具、成都工具研究所等数控刀具、工具系统、可转位硬质合金刀片的主要生产厂。但由于技术、设备投入不够，对先进切削工具认识不足，多年来我国的数控刀具技术发展缓慢。

由于我国机床工具行业对现代金属切削刀具与传统刀具的差别缺乏足够的认识，长期以来重主机、轻工具，在发展战略上数控刀具与数控机床的发展严重脱节，使我国数控刀具制造与国外先进水平存在很大差距，国产数控刀具与国外进口刀具相比，质量、精度、寿命相对较低，品种少。国内有些工厂企业仍然习惯地按普通机床模式来选择数控刀具，造成切削加工生产率低下、切削加工成本增

加，致使对数控机床大量投资并未达到预期效果。如国内超细晶粒硬质合金刀具和高性能高速钢刀具牌号很少，专用牌号几乎没有，可转位刀片的槽型与模具的开发能力低，涂层技术也远远落后于国外工具厂，目前尚无 TiC（N）商业牌号，更谈不上 TiAlN、MoS_2等新型涂层和纳米级涂层，使涂层这个至今覆盖面最广、可最有效提高刀具性能的技术得不到充分利用，国内应用最多的还是普通高速钢刀具和通用硬质合金刀具。

近年来，随着我国工具工业开发能力的提高、产品结构的调整和加大技术改造，在新技术和新产品方面也取得了一些可喜的成果。如上海工具有限公司开发的新产品除小尺寸整体硬质合金刀具以外，还有全部采用进口设备和原材料生产的 PCB 钻头和 PCB 铣刀，并形成了批量生产的能力，产品全部出口。成都成量集团公司数控刀具厂还推出了高速铝合金面铣刀、模块式曲轴可转位面铣刀、可转位复合镗刀等汽车行业专用刀具，以及可转位双刃可调镗刀、工具系统等产品。哈尔滨工量数控刀具有限责任公司为沈阳第一机床厂开发了配套的模块式可转位曲轴铣刀。国产陶瓷刀具近几年发展也很快，国产 Al_2O_3基和 Si_3N_4基陶瓷刀片的性能已接近国外同类产品的水平，可满足国内的需要，有的还出口国外。

在国内众多的数控刀具专业生产厂的共同努力下，一般精度（10μm 级）和转速在 8000r/min 以下的加工中心用工具系统和可转位刀具已经可以部分替代进口刀具，满足大多数数控加工用户的需要，其差距主要在工具寿命、外观和包装上。株洲硬质合金厂的可转位刀片在产品开发、切削性能、市场占有率上与进口刀片差距也在逐步减小。成都英格以高起点的软、硬件投入，崭新的经营理念和快速发展使其“EG－NC”牌数控刀具在国内独树一帜。但是，这些专业和非专业的刀具制造厂与世界上任何一家现代工具企业相比，其技术实力、生产能力和资产规模、全员生产率和市场份额都较小，且硬质合金材料生产、涂层技术研究和加工、刀片制造与刀具、工具系统制造各自为营，没有形成切削刀具产业链的紧密联合，孤军奋战，甚至互相进行低价、低水平、低档次竞争。这些都影响了我国数控刀具进一步发展。

第 2 章　数控刀具基础

2.1　刀具的基本概念

1. 切削运动

金属切削加工是使用具有一定几何形状的刀具把工件毛坯上预留的金属材料（统称余量）切除，获得图样所要求零件的过程。切削运动是指在切削过程中由金属切削机床完成的刀具和工件之间的相对运动，它又可分为主运动和进给运动，图 2-1 所示为车削运动。

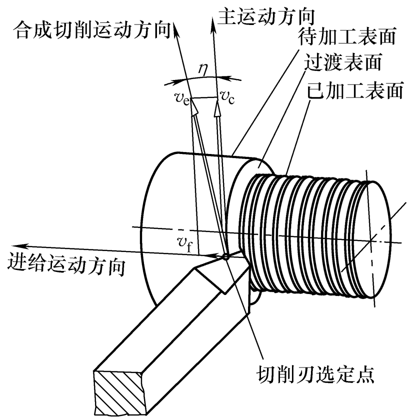


图 2-1　切削运动和工件表面

（1）主运动　由机床或人力提供的刀具与工件之间的相对运动。一般来说，它是速度最高、消耗功率最大的运动。例如，外圆车削时工件的旋转运动、平面刨削时刀具的往复运动及钻床上钻头和铣床上铣刀的回转运动等都是切削运动的主运动。

（2）进给运动　进给运动是由机床或人力提供的使刀具与工件间产生的附加的相对运动，加上主运动，即可不断地或连续地切除切削层，形成具有所需几何特性的已加工表面。机床的进给运动可以是连续的运动，如车削外圆时车刀平行于工件轴线的纵向运动（v_f）；也可以是间断运动，如刨削时刀具的横向移动。

（3）合成切削运动　当主运动和进给运动同时进行时，由主运动和进给运动合成的运动称为合成切削运动。刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成运动方向称合成切削运动方向，其速度称合成切削速度。该速度方向和过渡表面相切，如图 2-1 所示。合成切削速度 v_e 等于主运动 v_c 和进给运动 v_f 的矢量和。

$$v_e = v_c + v_f$$

（4）辅助运动　除主运动、进给运动以外，机床在加工过程中还需完成一系列其他的运动，即辅助运动。辅助运动的种类很多，主要包括：刀具接近工件，切入，退离工件，快速返回原点的运动；为使刀具与工件保持相对正确位置的对刀运动；多工位工作台和多工位刀架的周期换位及逐一加工多个相同局部表

面时，工件周期换位所需的分度运动等。另外，机床的起动、停车、变速、换向及部件和工件的夹紧、松开等的操纵控制运动，也属于辅助运动。辅助运动是整个加工过程中必不可少的。

在切削加工过程中，工件上形成三个不断变化的表面，分别是待加工表面、过渡表面、已加工表面（图 2-1）。

1）待加工表面指工件上即将被切除的表面。

2）过渡表面是工件上由切削刃正在形成的表面。

3）已加工表面指工件上切削后形成的表面。

2. 切削用量

切削用量是用来表示切削运动、调整机床加工参数的参量，可用它对主运动和进给运动进行定量描述。切削用量包括切削速度、进给量和背吃刀量三个要素。

（1）切削速度（v_c） 切削刃上选定点相对于工件主运动的瞬时线速度。回转主运动的线速度 v_c（m/min）的计算公式如下

$$v_c = \pi dn/1000 \tag{2-1}$$

式中 d——切削刃上选定点处所对应的工件或刀具的回转直径，mm；

n——工件或刀具的转速，r/min。

需要注意的是：车削加工时，应计算待加工表面的切削速度。

（2）进给量（f） 刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量，称为进给量。用刀具或工件每转或每行程的位移量 f（mm/r）来表示，如图 2-2 所示。其单位用 mm/r 或 mm/行程（如刨削等）表示。

数控编程时，通常采用进给速度 v_f（F 指令）表示刀具与工件的相对运动速度，单位是 mm/min。车削时的进给速度 v_f 为

$$v_f = nf \tag{2-2}$$

对于铰刀、铣刀等多齿刀具，通常规定每齿进给量 f_z（mm），其含义是刀具每转过一个齿，刀具相对于工件在进给运动方向上的位移量。进给速度 v_f 与每齿进给量的关系为

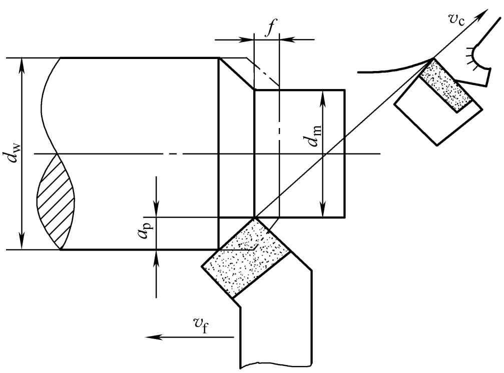


图 2-2 切削用量三要素

$$v_f = nzf_z \tag{2-3}$$

式中 z——刀齿数。

（3）背吃刀量（a_p） 已加工表面与待加工表面之间的垂直距离，单位 mm。外圆车削时：

$$a_p = (d_w - d_m)/2 \qquad (2\text{-}4)$$

式中　d_w——待加工表面直径（mm）；

d_m——已加工表面直径（mm）。

注意：镗孔时式中的 d_w 和 d_m 的位置互换一下，钻孔加工的背吃刀量为钻头的半径。

2.2　刀具的结构

刀具一般都由工作部分和装夹部分组成。刀具的装夹部分就是刀具和机床连接部分，它有带孔和带柄两类。带孔刀具依靠内孔套装在机床的主轴或心轴上，借助轴向键或端面键传递扭转力矩，如套式面铣刀等。带柄的刀具通常有矩形柄、圆柱柄和圆锥柄三种。车刀、刨刀等一般为矩形柄；麻花钻、立铣刀等为圆柱柄或圆锥柄。切削时借助夹紧时所产生的摩擦力传递扭转力矩。

刀具的工作部分就是切削部分，如车刀、刨刀、镗刀和铣刀等。有的刀具的工作部分除包含切削部分外，还包含校准部分，如钻头、扩孔钻、铰刀、内表面拉刀和丝锥等。校准部分的作用是修光已切削的加工表面和引导刀具。

刀具工作部分的形式有整体式、焊接式和机械夹固式三种。整体结构是在刀体上做出切削刃。现代加工中使用的多数是整体立铣刀，即直接从刀具棒料加工成成品刀具。焊接结构是把高硬度的刀片钎焊到韧性材料的刀体上，这样既可以保证刀具的切削性能，又有足够的韧性。机械夹固结构有两种，一种是把刀片夹固在刀体上，另一种是把钎焊好的刀头夹固在刀体上。硬质合金刀片一般制成焊接结构或机械夹固结构，陶瓷刀具都采用机械夹固结构。后面几章将针对不同用途刀具阐述其装夹部分具体结构。

2.2.1　刀具切削部分的组成和角度

刀具的种类繁多，但其切削部分的基本形态却大体一致。外圆车刀的切削部分可以看做是各类刀具切削部分的基本形态，其切削部分如图 2-3 所示，主要由以下部分构成。

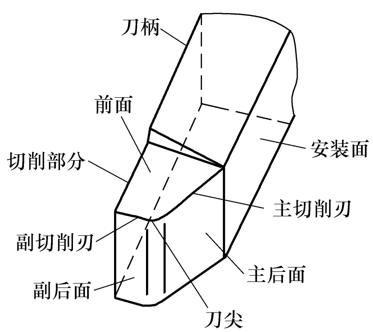


图 2-3　刀具切削部分组成

1. 刀具切削部分几何形状

（1）前面 A_γ　它是指刀具上切屑流过的表面。

（2）主后面 A_α　它是指刀具上与工件上的加工表面相对的刀具表面。

（3）副后面 A'_α　它是指刀具上与工件

上的已加工表面相对的刀具表面。

（4）主切削刃 S 它是指前面与主后面相交得到的刃边。主切削刃是前面上直接进行切削的锋刃，它完成主要的金属切除工作。

（5）副切削刃 S' 它是指前面与副后面相交得到的刃边。副切削刃协同主切削刃完成金属的切除工作，最终形成工件的已加工表面。

（6）刀尖 又称为过渡刃，它是指主切削刃与副切削刃连接处的一小段刃形，它可以是圆弧，也可以是直线。

2. 刀具标注角度的参考系和刀具的标注角度

刀具要从工件上切下金属，就必须具备一定的切削角度。由于大多数刀具切削部分的几何形状和空间位置较为复杂，因此，要确定刀具切削部分的几何角度就必须首先建立刀具角度的参考系。

用于确定刀具几何角度的参考系有两大类：刀具标注角度的参考系和刀具工作角度的参考系。

刀具标注角度的参考系又称静参考系，它是在假定没有进给运动和假定的刀具安装条件下用于定义刀具在设计、制造、刃磨和测量时刀具几何参数的参考系。在刀具标注角度参考系内确定的刀具角度称为刀具的标注角度或静止角度，刀具设计图纸上所标注的刀具角度就是刀具的标注角度。

（1）刀具标注角度的参考系 刀具标注角度的参考系主要由下列各平面构成（图2-4）：

1）基面 P_r。基面就是通过切削刃选定点并平行或垂直于刀具安装平面或定位平面的一个平面。一般说来，其方位要垂直于假定的主运动方向。对车刀、刨刀而言，就是过切削刃选定点和刀柄安装面平行的平面。对钻头、铣刀等旋转类刀具来说，即是过切削刃选定点并通过刀具轴线的平面。

2）切削平面 P_s。切削平面就是通过切削刃选定点与切削刃相切并垂直于基面的平面。当切削刃为直线刃时，过切削刃选定点的切削平面，即是包含切削刃并垂直于基面的平面。对应于主切削刃和副切削刃的切削平面分别称为主切削平面和副切削平面。

3）主剖面 P_o。通过切削刃上某选定点，同时垂直基面和切削平面的平面，也就是垂直于切削刃在基面上的投影的平面。

4）法剖面 P_n。通过切削刃上某选定点，垂直于切削刃的平面。

5）假定进给剖面 P_f。通过切削刃上选定点，平行于假定进给运动方向 v_f 并垂直于基面 P_r 的平面。

6）假定切深剖面 P_p。通过切削刃上选定点，同时垂直于基面 P_r 与 P_f 的平面。

刀具标注角度的参考系对刀刃上同一选定点来说可以有三种，即：主剖面参

考系（又称正交平面参考系）、法剖面参考系和假定进给与切深剖面参考系。它们的选用与生产中实际采用的刀具角度刃磨方式、检测和夹具的结构及调整方式有关。

① 主剖面参考系：由基面、切削平面和主剖面构成，如图 2-4a 所示。

② 法剖面参考系：由基面、切削平面和法剖面构成，如图 2-4b 所示。

③ 假定进给与切深剖面参考系：由基面、假定进给剖面和假定切深剖面构成，如图 2-4c 所示。

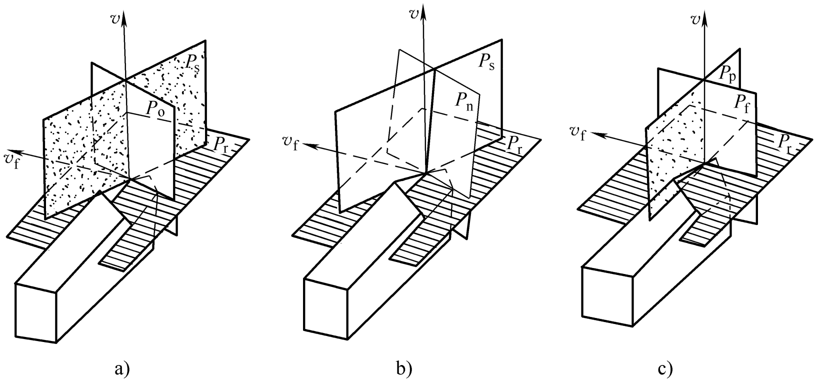


图 2-4　刀具标注角度参考系

a）主剖面参考系　b）法剖面参考系　c）假定进给与切深剖面参考系

（2）刀具的标注角度　刀具的标注角度是指在刀具标注角度参考系中，刀具工作图纸上用于刀具的制造、刃磨和测量所需要标出的角度，用于表达刀具表面在空间的方位。在刀具标注角度的参考系中，刀具工作图样上要求标注的基本角度有：前角（γ_o、γ_n、γ_f、γ_p）、后角（α_o、α_n、α_f、α_p）、副后角 α'_o、刃倾角 λ_s、主偏角 κ_r 和副偏角 κ'_r。有时根据实际需要，还可再标出楔角 β_o 和刀尖角 ε_r。下面对这些刀具的标注角度定义如下：

1）前角（γ_o、γ_n、γ_f、γ_p）。在主切削刃选定点的某剖面内前面与基面的夹角。某剖面可以是主剖面、法剖面、假定进给剖面、假定切深剖面或任意一个剖面。在主剖面、法剖面、假定进给剖面、假定切深剖面内测量的前角符号分别用 γ_o、γ_n、γ_f、γ_p 表示。

2）后角（α_o、α_n、α_f、α_p）。在主切削刃选定点的某剖面内后面与切削平面的夹角。在主剖面、法剖面、假定进给剖面、假定切深剖面内测量的后角符号分别用 α_o、α_n、α_f、α_p 表示。

3）副后角 α'_o。与后角 α_o 的定义相似，是在副切削刃选定点的副主剖面内副后面与副切削平面的夹角。

4）刃倾角 λ_s。在切削平面内主切削刃与基面的夹角。

5）主偏角 κ_r。在基面内主切削刃的投影与假定进给剖面的夹角。

6）副偏角 κ'_r。在基面内副切削刃的投影与假定进给剖面的夹角。

7）楔角 β_o。在主切削刃选定点的主剖面内前面与后面夹角，$\beta_o = 90° - (\alpha_o + \gamma_o)$。

8）刀尖角 ε_r。在基面内主切削刃和副切削刃的夹角，$\varepsilon_r = 180° - (\kappa_r + \kappa'_r)$。

刀具在主剖面、法剖面、假定进给与假定切深剖面参考系中要标注的角度如图 2-5 ~ 图 2-7 所示。

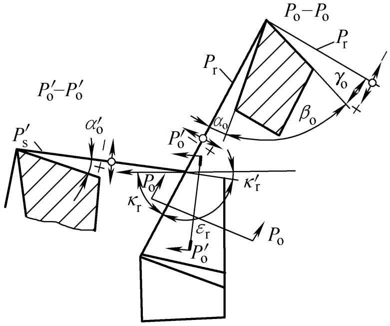


图 2-5　主剖面参考系中标注角度

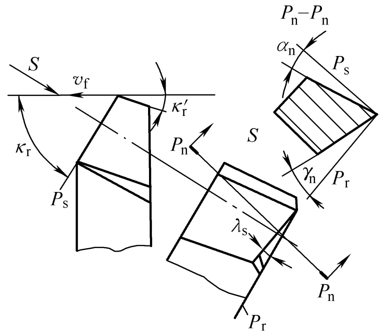


图 2-6　法剖面参考系中标注角度

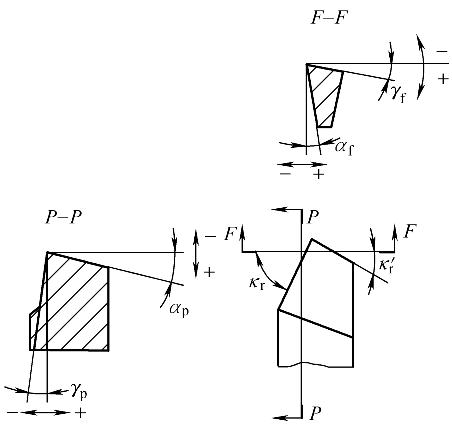


图 2-7　假定进给、假定切深剖面参考系中标注角度

2.2.2　合理选择刀具切削刃部结构形式

1. 前角及前面形状选择

（1）前角的作用　前角有正前角与负前角之分，其大小影响切削变形和切削力的大小、刀具耐用度及加工表面质量高低。取正前角的目的是为了减少切屑

被切下时的弹塑性变形和切屑流出时与前面的摩擦阻力，从而减少切削力和切削热，使切削轻快，提高刀具寿命，并提高已加工表面质量，所以应尽可能采用正前角。但前角过大时，会削弱刃部的强度并降低散热能力，反而会使刀具寿命降低。图 2-8 是刀具前角对刀具寿命的影响曲线。由图可看出，在一定的切削条件下，用某种材料的刀具加工某种材料的工件时，总有一个使刀具获得最高寿命的前角值，这个前角就叫合理前角。合理前角可以是正前角，也可以是负前角。

取负前角的目的是提高切削刃强度和抗冲击能力，负前角刀具的前面受压力，刃部相对比较结实，特别是在切削硬或脆性材料时，刃口强度好，但切削时刀具锋利程度降低，切削变形和摩擦阻力增大，切削力和切削功率也增加。所以，负前角刀具通常在脆性刀具材料加工高强度高硬度工件材料而切削刃强度不够、易产生崩刃时才采用。

正前角与负前角概念如图 2-9a 所示，前面与基面平行时前角为零；前面与切削平面间夹角小于 90°时前角为正；前面与切削平面间夹角大于 90°时前角为负。同样后面与基面间夹角小于 90°时后角为正，大于 90°时后角为负。图 2-9b 所示刃倾角的正负判别，切削刃与基面平行时，刃倾角为零，刀尖相对底平面处于最高点时，刃倾角为正，处于最低点时，刃倾角为负。

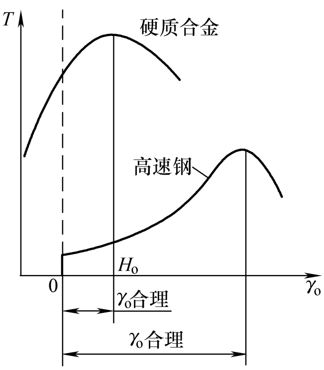


图 2-8　刀具的合理前角

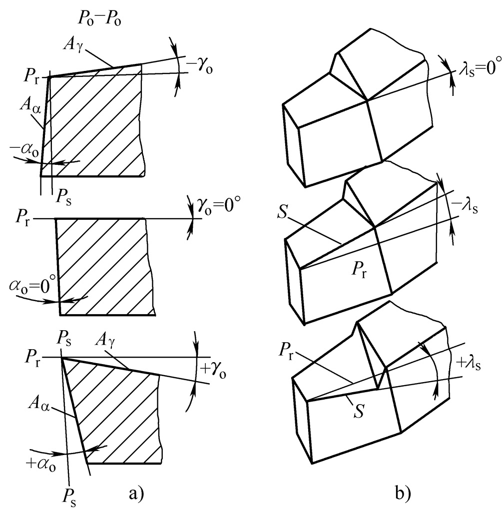


图 2-9　刀具角度正负

a）正前角和负前角概念　b）刃倾角的正角判别

合理选择前角参数应考虑的影响因素有：

1）刀具材料：对于刀具材料（包括涂层处理）来讲，刀具材料抗弯强度和韧性较高时，前角就可以越大。如高速钢刀具的前角比硬质合金刀具大 5° ~ 10°。陶瓷刀具的强度和韧性较差，前角的选择要充分注意增加切削刃强度，常

取负值（多在 -15° ~ -4°），以改善刀具受力时的应力状态。立方氮化硼由于脆性大，一般都采用负前角高速切削。

2）加工对象：工件材料的强度、硬度较低，塑性好时，应选较大前角；加工工件的强度、硬度高时，应取较小前角，甚至取零或负前角。表 2-1 是硬质合金刀具前角值的选用，供选用时参考。

表 2-1　硬质合金刀具前角值的选用

工件材料	碳素钢				40Cr	调质40Cr	不锈钢	高锰钢	钛及钛合金	铝及铝合金
	≤0.445	≤0.558	≤0.784	≤0.98						
前角	20° ~30°	15° ~30°	12° ~15°	20°	13° ~18°	10° ~15°	15° ~30°	-3° ~3°	5° ~10°	5° ~30°

工件材料	淬硬钢					灰铸铁		铜		
	38 ~ 41HRC	44 ~ 47HRC	50 ~ 52HRC	54 ~ 58HRC	60 ~ 65HRC	≤220HB	>220HB	纯铜	黄铜	青铜
前角	0°	-3°	-5°	-7°	-10°	12°	8°	25° ~30°	15° ~25°	5° ~15°

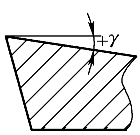
3）具体加工条件：在粗加工、断续加工、有硬质点的铸件或锻件粗或半精加工时，刀具将承受较大的切削力和切削温度，加工余量也不均匀，宜取较小前角；精加工时，切削余量小，提高已加工表面质量是主要因素，故可加大前角，使刀刃锐利。

4）当机床 - 工件 - 刀具工艺系统刚度较差或机床功率不足时，应取较大前角，以减少切削力和切削功率，防止振动。

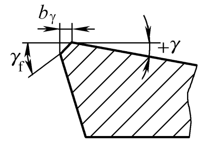
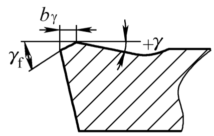
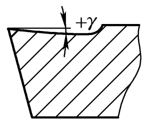
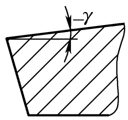
5）前角的合理数值还与前面形状及刃区参数有关。例如，带负倒棱的刀具允许较大的前角；大前角刀具常与负刃倾角相匹配来保证切削刃强度和抗冲击能力。

（2）前面形状及刃区剖面形式　前面有平面形、曲面形、带倒棱形等。正确选择前面形状及刃区参数，可防止刀具崩刃、提高刀具寿命。常见的前面形状及其应用见表 2-2。

表 2-2　常见的前面形状及其应用

类型	简图	切削过程特点	应用
正前角、平面形		切割作用强，刀刃强度差，切削变形小，不易断屑	各种高速钢刀具，刃形复杂的成形刀具，加工铸铁、青铜、脆黄铜的硬质合金车刀，硬质合金铣刀、刨刀等

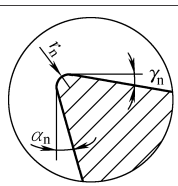
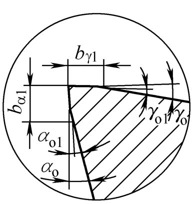
（续）

类型	简图	切削过程特点	应用
正前角、平面形、带倒棱		切割作用较强，刀刃强度较好，切削变形较小，不易断屑	加工铸铁的硬质合金车刀，硬质合金铣刀、刨刀等
正前角、曲面形、带倒棱		切割作用较强，刀刃强度较好，切削变形较小，容易断屑	加工各种钢料的硬质合金车刀
正前角、曲面形		切割作用强，刀刃强度较差，切削变形小，容易断屑	各种高速钢刀具，加工纯铜、铝合金及低碳素钢的硬质合金车刀
负前角、平面形		切割作用减弱，刀刃强度好，切削变形大，容易断屑	加工淬硬钢、高锰钢的硬质合金车刀、铣刀、刨刀等

刀具刃区剖面形式是刀具刃口微观状态的重要体现，具体分为锋刃、负倒棱刃、消振棱刃、钝圆刃等形式。

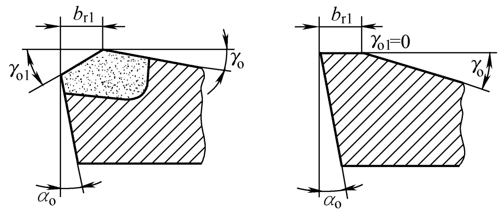
1）锋刃：锋刃是指刃磨前面和后面直接形成的切削刃，比较锐利。但它并不是绝对锐利的，而在刃磨后自然形成一个切削刃钝圆半径 r_n，其值取决于刀具材料、刃磨工艺和楔角的大小，并且在切削过程中随着磨损而有增大的趋势，刀具表面粗糙度越大，增加速度也越大。锋刃刀具刃口参数见表 2-3。锋刃刀具广泛用于各类精切刀具、成形刀具和展成法加工刀具等。

表 2-3　锋刃刀具刃口参数

简图	刀具类型	切削刃钝圆半径 r_n/μm
	高速钢刀具	12 ~ 15
	硬质合金刀具	18 ~ 26
	细颗粒硬质合金刀具	为粗颗粒硬质合金刀具的 2/5 ~ 1/2
	立方氮化硼研磨的高速钢刀具	5 ~ 6
	金刚石研磨过的高速钢刀具	7 ~ 14
	锋刃刃口的切削角度 γ_{o1}、α_{o1} 通常等于前、后面的 γ_o、α_o，但也可研磨出很窄的棱边。$b_{\gamma1} = b_{\alpha1} = 0.05 \sim 0.2\text{mm}$，$\gamma_{o1} = \gamma_o - 2°$，$\alpha_{o1} = \alpha_o - 2°$	

2）负倒棱刃：负倒棱就是沿切削刃磨出很窄的负前角棱面（又称第一前面）。采用负倒棱刃是增加刀刃强度的有效措施，可提高刃口表面质量。图 2-10 是前角 γ_{o1} 小于或等 0°的倒棱刃区形式。倒棱宽度小于进给量 f 时，切削钢料，切削力 F_c 增加不超过 8%。负倒棱对背向力 F_p 影响较大，当 $\gamma_{o1} = -30° \sim -20°$时，$F_p$ 增大 75%，且易引起振动。

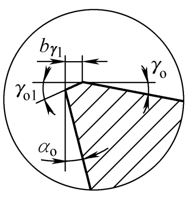
负倒棱刀具广泛用于硬质合金粗车刀、半精车刀、铣刀和刨刀，以及陶瓷、氮化硅、CBN 等材料的加工。其参数的选择见表 2-4。



a) $\gamma_{o1}<0°$　　b) $\gamma_{o1}=0°$

图 2-10　倒棱刃区形式

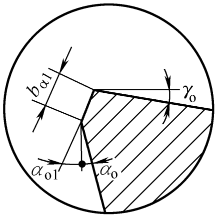
表 2-4　负倒棱刀具参数的选择

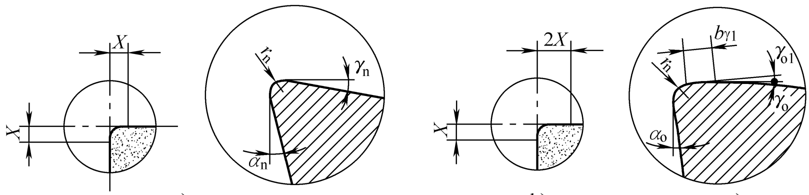
简图	参数	应用	备注
	$b_{\gamma 1} \leq 0.5f$（mm） $\gamma_{o1} = -10° \sim -5°$	加工低碳素钢、不锈钢、灰铸铁等	在刃口承受很大冲击载荷情况下，倒棱宽度可增大：$b_{\gamma 1} \leq (1.3 \sim 2.0)f$；有时采用不等宽负倒棱，也可采用0°倒棱或正倒棱
	$b_{\gamma 1} \leq (0.3 \sim 0.8)f$(mm) $\gamma_{o1} = -15° \sim -10°$	加工中碳素钢、合金结构钢	

3）消振棱刃：消振棱刃可增强刀刃，提高刃口表面质量。切削过程中，当因机床或工件系统的刚度不足而引起低频自振时，由于消振棱可产生阻尼力，从而能消减振动。它还具有挤压熨平加工表面的作用，可提高已加工表面质量和刀具寿命。消振棱刃适用于粗、精车刀、刨刀和螺纹刀具等。消振棱刃刀具参数选择见表 2-5。

4）钝圆刃：该种刃口形式是直接通过刀片钝化处理或切削刃在负倒棱的基础上进一步钝圆处理而成，如图 2-11 所示，前者为圆弧刃口或瀑布刃口，后者为倒棱倒圆刃口。

表 2-5　消振棱刃刀具参数选择

简图	参数	应用
	$b_{\alpha 1} \leqslant 0.1 \sim 0.3\text{mm}$ $\alpha_{o1} = -5° \sim -20°$	车刀、刨刀和螺纹车刀的主切削刃
	$b_{\alpha 1} \leqslant 0.15 \sim 0.3\text{mm}$ $\alpha_{o1} = -1° \sim -2.5°$	带熨平作用的车刀的副刀刃



a)　　b)　　c)

图 2-11　钝圆刃

a）圆弧刃口　b）瀑布刃口　c）倒棱倒圆刃口

钝圆切削刃的钝圆半径比锋刃直接形成的要大一些。切削刃进行钝圆处理时，能研磨掉切削刃上的小缺口，可增强刀刃，延长刀具寿命，也可起一定的挤压熨平和消振作用，有利于提高加工表面质量。适合于各种粗、精加工的硬质合金刀具和可转位刀片等。

钝圆切削刃的钝圆半径 $r_n \leqslant f/3$。根据其钝圆半径不同，可分为轻型钝圆（r_n 约为 0.02 ~0.03mm）、中型钝圆（r_n 约为 0.05 ~0.1mm）和重型钝圆（r_n 约为 0.1 ~0.15mm）。

倒棱倒圆及瀑布刃口形式的刀具刀尖强度大，切削刃抗冲击性能强，可用于高效率的加工，可进行断续、槽型和黑皮加工等，适用于重型或超重型切削等。

2. 后角及后面形状

（1）后角的作用　后角主要是减少后面与工件表面（切削表面或已加工表面）之间的接触摩擦，使刀具磨损减少（如图 2-12 所示，在相同 VB 量的磨损下，后角越大，刀具的 NB 磨损量越大）；使刀尖具有自由切入工件的能力，提高工件表质量；后角越大，切削刃越锋利，但切削刃和刀头的强度削弱，散热体积减小。

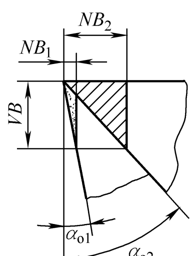


图 2-12　刀具后角对磨损量的影响

（2）后角的选择　后角的选择应根据刀具、工件和加工条件而定。在一定条件下，后角也有对应于最高刀具寿命的合理数值，具体参见表 2-6。

表 2-6　后角合理数值选择参考

加工条件	后角参数
粗加工	一般粗车，6°～8°；强力车削，3°～6°
精加工	一般取，8°～12°
在刀具、工件、机床系统刚性差的情况下	可在刀具后面磨出宽 0.1～0.2mm、后角为 -5°的负倒棱后面
加工高硬度高强度材料时	宜采用较大后角 12°～15°
加工脆性材料时	宜采用较大后角 12°～15°
加工铸造黄铜时	可采用 4°～6°小后角，或者研磨出一条很窄（0.1mm 左右）、$\alpha=0°\sim1°$的挤光带
切断刀	宜取较大后角（10°～12°）
高速钢立铣刀	由于每齿进给量很小，后角取 16°
圆片铣刀	当每齿进给量为 0.1mm 时，后角取 30°

（3）副后角（侧后角）的选择　副后角的作用与后角基本一样。车刀、刨刀的副后角一般与后角相同，或稍小一些。加工一般钢件和灰铸铁，取 4°～6°；加工淬硬钢或断续切削时，取 2°～°4；加工铜、铝，取 6°～8°。精加工时，为了减小副后面与已加工表面间的摩擦，副后角应稍大一些。

切断刀、切槽刀的副后角，因受刀头强度的限制，只能取较小值。一般为 1°～2°，有时为了加工的需要可适当增大到 3°。

（4）后面形状及选择　后面除单后面形式外，根据应用还有三种不同的形式。

1）第一种是双重后面形式，第一后面取较小值，增强刀刃强度；第二后面取较大值，可避免与工件加工面产生干涉，同时可减少刃磨后面的劳动量，提高刃磨质量。如图 2-13a 所示，$b_{\alpha1}$取 1～3mm。

2）第二种是刃带后面形式。沿主切削刃或副切削刃磨出 0°窄棱面，如图 2-13b。该形式是为了在制造刃磨刀具时便于控制和保持尺寸精度，同时在切削时也可以起到支承、导向、稳定切削过程和消振（产生摩擦阻力）的作用，对已加工表面还会产生“熨压”作用，从而能有效降低已加工表面粗糙度值。适合于定尺寸刀具，如拉刀、铰刀、浮动镗刀、立铣刀等，刃带宽一般在 0.05～0.3mm 范围内，超过一定值后会增大摩擦，擦伤已加工表面，甚至引起振动。

3）第三种是沿着后面磨出负后角倒棱面，倒棱角 $\alpha_{o1}=-5°\sim-10°$，$b_{\alpha1}=0.1\sim0.3$mm，如图 2-13c 所示，在切削时能产生支承作用，防止扎刀，使用恰当时，有助于消除低振动。这是镗孔时常采取的消振措施之一。

3. 主偏角与副偏角

（1）主偏角的作用　主偏角 κ_r 的大小影响刀尖部分的强度与散热条件、切削分力的比值等，有时还决定工件表面形状，如图 2-14 所示。

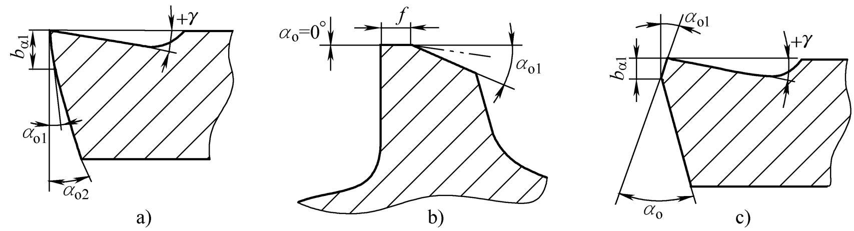


图 2-13　后面形式

a）双重后刀面形式　b）刃带后刀面形式　c）负后角倒棱面

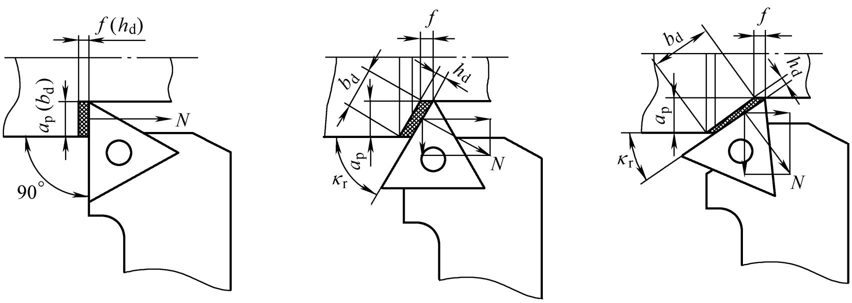


图 2-14　主偏角（从 90°减小）与切削厚度、切削宽度及切削力变化的关系

1）影响主切削刃单位长度的负荷、刀尖部分的强度与散热条件　当背吃刀量 α_p 和进给量 f 相同时，主偏角的变化将改变切屑形状，使切削层参数发生变化，从而影响切削刃上的负荷。当主偏角 κ_r 减小时，由于切削层公称宽度 $b_d=f\sin\kappa_r$ 减小，使作用在主刀刃单位长度上的负荷减轻；且刀尖角增大，刀尖强度提高，散热条件改善。这两方面的作用利于提刀具寿命。反之，加大主偏角，则刀尖部分的强度与散热条件较差，切削厚度增大，宽度减小，单位长度刀刃上的负荷也就加重。因此，在工艺系统刚性较好时，适当减小主偏角，可以提高刀具寿命。

2）影响切削分力比值及切削层单位面积切削力　当 κ_r 减小时，由于吃刀量减小，变形系数增大，使切削层单位面积切削力增大，在 α_p 和 f 相同时，使切削功率增加。但主要的是使背向力 F_p 增大，容易引起工艺系统振动。当工艺系统刚性不足时，会使刀具寿命降低。

3）影响断屑效果和排屑方向，以及残留面积高度等　增大主偏角，使切削厚度增大，切削宽度减小，成为窄而厚的切屑，有利于切屑折断，在孔加工刀具中可使切屑沿轴向顺利流出。

（2）主偏角的选择　主偏角要根据工件、刀具和机床的工艺系统刚性、工件材料的性质和工件表面形状的要求，进行合理选择（表 2-7）。

1）当工艺系统刚性足够时，应选用较小的主偏角，以提高刀具的寿命；当刚性不足时，必须采用较大的主偏角，以减少背向力，避免振动，如车细长轴时

应采用90°主偏角车刀。

2）在加工高强度、高硬度材料时，刀具的磨损特别快，应选用较小的主偏角（一般在30°左右，甚至更小），以减轻刀刃负荷，增加刀尖强度。

3）加工有台阶或带倒角的工件，刀具主偏角的大小必须适应工件形状的要求。加工直角台阶，必须采用主偏角为90°的刀具；切45°倒角时，必须采用主偏角为45°的刀具。

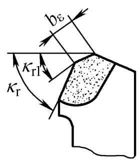
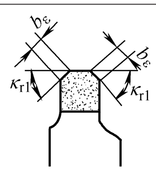
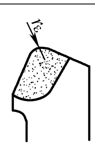
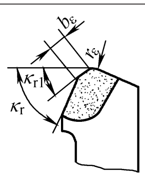
表 2-7　主偏角参考值

工 作 条 件	主偏角 κ_r
系统刚性好，背吃刀量小，进给量较大，工件材料硬度高	10°～30°
系统刚性好，加工盘类工件	30°～45°
系统刚性差，背吃刀量较大，或有冲击时	60°～75°
系统刚性差，车阶梯轴、仿形车削、切槽与切断	90°～93°

4. 刀尖与刀尖角

刀尖是切削中工作条件最恶劣、结构较薄弱的部分，强度和散热条件都很差。增强刀尖，对提高刀具寿命有重要意义。若采用减小主、副偏角的办法增强刀尖，常会使背向力 F_p 增大，引起振动，因此选择合适的刀尖十分重要，具体参见表2-8。

表 2-8　刀尖形状与参数选用

形状	简图	参数选择	特点及应用
直线型		$\kappa_{r1}=\kappa_r/2$ $b_\varepsilon=0.5\sim2$mm 或 $b_\varepsilon=(1/5\sim1/4)\alpha_p$(mm) α_p——背吃刀量（mm）	有效协调主、副偏角与刀尖角之矛盾，可使刀尖增强，多用于粗加工切削
		$\kappa_{r1}=45°$ $b_\varepsilon=0.5\sim1$mm 或 $b_\varepsilon=b_t/5$ b_t——刀头宽度（mm）	
圆弧形		高速钢车刀：$\gamma_\varepsilon=0.5\sim5$mm 硬质合金车刀：$\gamma_\varepsilon=0.5\sim2$mm	小圆弧刀尖用于精加工、细长轴及机床刚性差时；大圆弧刀尖用于强度高的黑皮切削、断续切削、较大工件的粗加工
直线圆弧形		$\kappa_{r1}=\kappa_r/2$ $b_\varepsilon=0.5\sim2$mm γ_ε 的数值同圆弧形	具有修光刃的刀尖，可提高加工效率和表面质量

5. 刃倾角

（1）刃倾角的作用　刃倾角的大小代表了主刀刃和前面的倾斜程度。它的主用有：

1）影响排屑方向：当刃倾角 $\lambda_s = 0°$时，切屑垂直于切削刃流出；当 λ_s 为负值时，切屑向已加工表面流出；当 λ_s 为正值时，切屑向待加工表面流出，如图 2-15 所示。

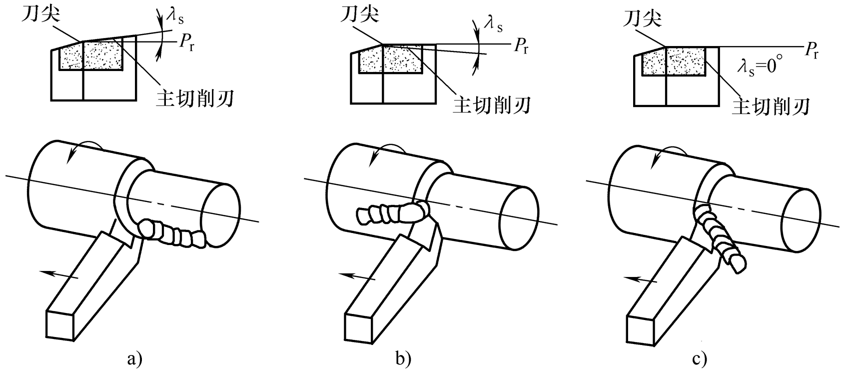


图 2-15　刃倾角对切屑流向的影响

a）刃倾角为负值（用于粗加工）　b）刃倾角为正值（用于精加工）　c）刃倾角为零

2）影响刀尖强度：在切削断续表面的工件时，负刃倾角因刀尖位于切削刃的最低点，使离刀尖较远部分的切削刃首先接触工件，从而可避免刀尖受冲击；而正刃倾角因刀尖位于切削刃的最高点，刀尖首先与工件接触，受到冲击载荷，容易引起崩刃。刃倾角对刀尖强度的影响如图 2-16 所示。

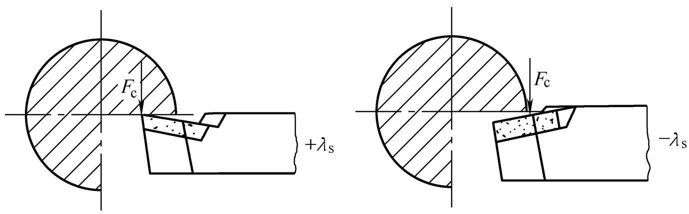


图 2-16　刃倾角对刀尖强度的影响

3）影响切削刃锋利特性：当刃倾角的绝对值增大时，刀具的实际前角 γ_{oe} 增大，刀具的切削刃变得锋利，可切下很薄的切削层。

4）影响工件的加工质量：小刃倾角使背向力 F_p 增大，进给力 F_f 减小，特别当刃倾角为负值时，被加工的工件容易产生弯曲变形（车削外圆件）和振动，使工件质量下降。

（2）刃倾角的选择　刃倾角主要根据刀具强度、流屑方向和加工条件而定，参见表 2-9。

表 2-9　刃倾角 λ_s 值选用表　　（单位:°）

λ_s 值	应用范围	λ_s 值	应用范围
0 ~ +5	精车钢，精车细长轴	+5 ~ +10	精车有色金属
-10 ~ -5	粗车余量不均匀钢	-5 ~0	粗车钢和灰铸铁
-15 ~ -10	断续车削钢和灰铸铁	-45 ~ -10	带冲击切削淬硬钢
45 ~75	微量精车外圆、精车孔和精刨平面	-20 ~ -10	强力切削刨刀
-45 ~75	大刃倾角刀具薄切削	10 ~15	铣削

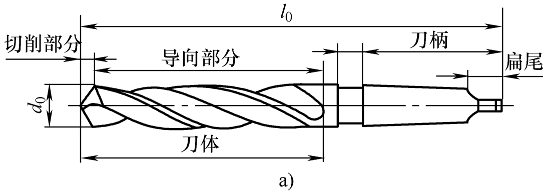
2.2.3　刀具装夹部分的结构形式

刀具的装夹部分是刀具切削刃部与机床或工具系统连接的载体，其结构形式影响刀具的切削加工性能，影响刀具的装夹方式和安全性等，也影响加工质量。根据加工要求合理选择和设计刀具的刀体及柄部形式，可提高加工效率，改善加工效果。

1. 刀体的形式与要求

在整体式刀具中，刀具刃部与刀体制成一体；在组合式刀具中，刀体是刀片、刀垫、夹紧元件与机床或工具系统连接的载体和联系部分。因此对刀体的要求有：刀体在承载切削力时的硬度和刚性要好，刀体与机床或工具系统应具有高精度、高刚性和易换，使用性能要好，便于确定刀具刃口的位置。在机夹刀具中，刀片和刀垫在刀体上应可靠定位、夹紧及快换，刀体结构应符合使用工艺要求，制造工艺性要好，结构简单，便于制造。

图 2-17 所示为麻花钻和机夹刀具。图 a 是麻花钻的结构，刀体与切削刃部和导向部分自成一体，属于该类的还有整体式立铣刀、丝锥、拉刀等。该类结构的刀体结构简单、紧凑，性能稳定，制造加工方便，使用灵活，操作安全，可用于制造小型、微型刀具；图 b 是机夹刀具的结构，刀体为承载刀片和夹紧系统的载体，是目前模块化刀具的主要形式。



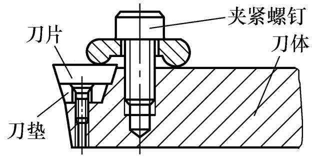


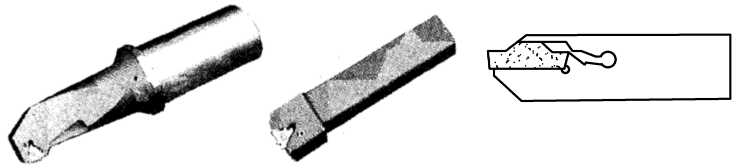
图 2-17　刀体和刀柄

a）麻花钻的结构　b）机夹刀具的结构

2. 固定型刀柄形状与装夹

固定型刀柄主要形状有圆形、方形、扁形等。圆形刀柄的横截面为圆形，如图 2-18a 所示，刀柄有圆柱形和圆锥形两种。圆柱形刀柄的旋转中心在夹紧后与

机床装夹孔的旋转中心将不一致，因此一般不应用于旋转类刀具的刀柄，常用于车刀杆，采用侧面压紧方式；圆锥形的刀柄定位、装夹精度高，目前在高精、高效加工中应用普遍，如现代数控工具系统的刀具柄部基本都以圆锥形为主。方形刀柄如图 2-18b 所示，主要用于车削加工中，采用侧面压紧方式，对中定心性相对较差。扁形、薄刀板形如图 2-18c 所示，主要用于加工空间受限的场合，如目前较流行的薄刀、各种形状切槽刀。



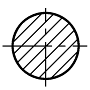
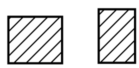
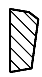
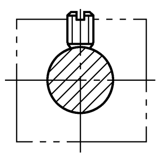
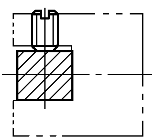
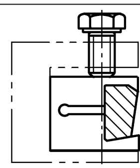
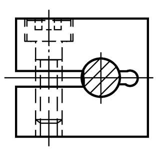
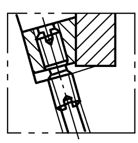
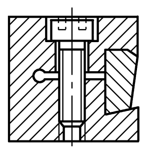
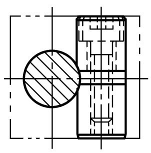
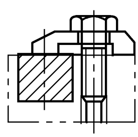
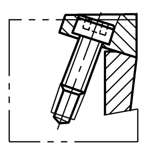
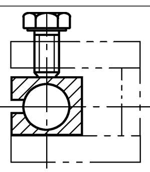
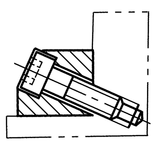
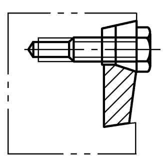
a)　　b)　　b)

图 2-18　刀柄形式

a）圆形刀柄　b）方形刀柄　c）扁形刀柄

刀柄的夹紧方式较多，表 2-10 列出了各种刀柄截面形状和常用的夹紧方式。

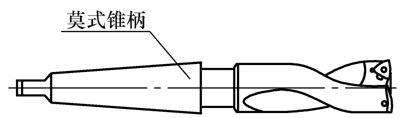
表 2-10　各种刀柄截面形和常用的夹紧方式

刀杆截面形状	圆形 	方形 	扁形 
夹紧方式			
			
			
			

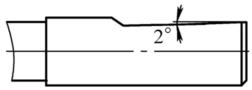
3. 旋转型刀具的柄部形式

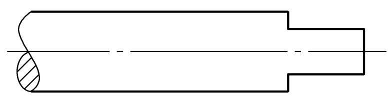
旋转型刀具的柄部形式，从刀具柄部的形状分，有圆柱柄、圆锥柄、削平型柄；从刀具柄部装夹方式分，有侧固柄、螺纹柄、自夹圆锥柄等。目前应用于各类旋转型刀具的柄部类型见表2-11。

表2-11　旋转型刀具的柄部类型

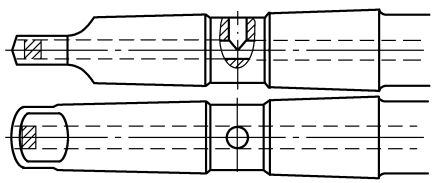
柄部类型	柄部简图	应　　用
带扁尾传动的直柄（GB/T 1442—2004）	图2-19a	直柄钻和直柄机用铰刀 
机床和工具柄用自夹圆锥柄（GB/T 1443—1996）	图2-19b	有4#、6#、80#、100#、120#、160#、200#米制圆锥和0#、1#、2#、3#、4#、5#、6#莫式圆锥，可带扁尾、螺纹孔和切削液孔等形式。适用于机床和工具柄用自夹圆锥 
7∶24圆锥柄（GB/T 3837—2001）（GB/T 10944.1—2006）	图2-19c	有手动换刀和机动换刀形式。适用于7∶24圆锥柄的各式机床与刀具
带传动方头的直柄	图2-19d	带传动方头的直柄铰刀和丝锥等 
铣刀普通直柄（GB/T 6131.1—2006）	图2-19e	适用于柄部直径为3～63mm的单头和双头铣刀

（续）

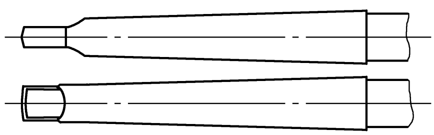
柄部类型	柄部简图	应　　用
铣刀削平直柄（GB/T 6131.2—2006）	图 2-19f	单削平直柄适用于柄部直径 6 ~ 20mm 的单头和双头铣刀，双削平直柄适用于柄部直径 25 ~ 63mm 的单头铣刀
铣刀 2° 斜削平直柄（GB/T 6131.3—1996）	图 2-19g	适用于柄部直径 6 ~ 50mm 的单头铣刀 
铣刀螺纹直柄（GB/T 6131.4—2006）	图 2-19h	适用于柄部直径 6 ~ 32mm 的单头铣刀



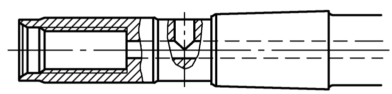
a)



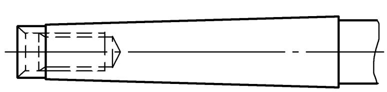
带扁尾、冷却液输入孔的机床和工具柄用自夹圆锥



带扁尾的机床和工具柄用自夹圆锥



带螺纹孔、冷却液输入孔的机床和工具柄用自夹圆锥



带螺纹孔的机床和工具柄用自夹圆锥

b)

图 2-19　各类旋转刀具柄部简图

a）带扁尾传动的直柄　b）机床和工具柄用自夹圆锥柄

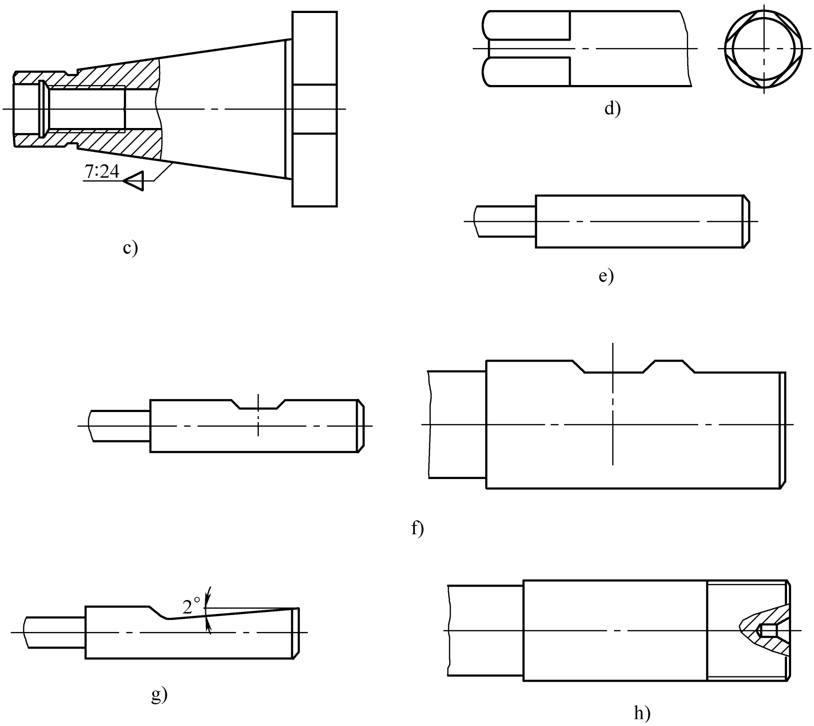


图 2-19　各类旋转刀具柄部简图（续）

c）7∶24 圆锥柄　d）带传动方头的直柄　e）铣刀普通直柄

f）铣刀削平直柄　g）铣刀 2°斜削平直柄　h）铣刀螺纹直柄

4. 套装刀具的装夹形式

对于大型盘形刀具，如面铣刀、套孔刀、齿轮滚刀等，刀体与机床或工具系统直接相连，通常是通过中心的圆柱或圆锥孔定位，采用端键传动或纵键传动的方式传递力矩。图 2-20 是 1∶30 锥度端键传动的套式扩孔钻和纵键传动的齿轮滚刀。

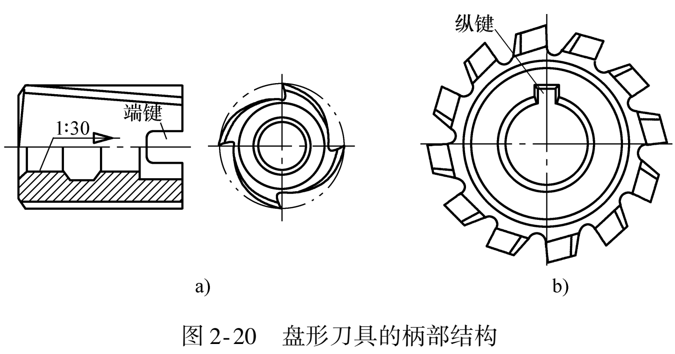


图 2-20　盘形刀具的柄部结构

a）1∶30 锥度端键传动的套式扩孔钻　b）纵键传动的齿轮滚刀

2.3　数控可转位刀具

2.3.1　可转位刀具的基本概念

1. 可转位刀具的定义

目前数控机床用的刀具的主流是可转位刀片的机夹刀具。可转位刀具是将预先加工好并带有若干切削刃的多边形刀片，用机械加固的方法加紧在刀体上的一种刀具，如图 2-21 所示。当在使用过程中一个切削刃磨钝后，只要将刀片的夹紧松开后转位，使新的切削刃进入工作位置，并重新夹紧就可以继续使用。当所有切削刃用钝后，换一块新刀片即可继续切削，不需要更换刀体。

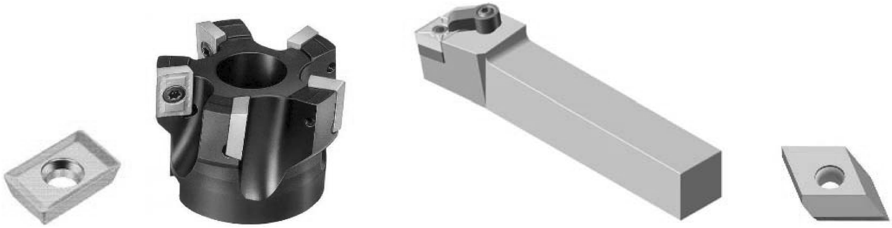


图 2-21　可转位刀具及刀片

可转位刀具与焊接式刀具及整体式刀具相比有以下特征：其一是刀体上安装的刀片，至少有两个预先加工好的切削刃供使用；其二是刀片转位后的切削刃在刀体上位置不变，并具有相同的几何参数。可转位刀具的刀片成为独立的功能元件，其切削性能得到了扩展和提高，机械夹固式避免了焊接工艺的影响和限制，更有利于根据加工对象选择各种材料的刀片，并充分地发挥了其切削性能，从而提高了切削效率；切削刃空间位置相对刀体固定不变，节省了换刀、对刀等所需的辅助时间，提高了机床的利用率。可转位刀具的刀体可重复使用，节约了钢材和制造费用，极大地促进了可转位刀体的专业化、标准化生产，进一步促进可转位刀具技术的进步。

2. 可转位刀片的分类和要求

可转位刀具是用机械夹固的方法将刀片夹紧在刀体上的，因此，通常按刀片在刀杆或刀体上的安装方法不同，把可转位刀片分为如下几类（图 2-22）：

1）无孔可转位刀片。这种刀片是最早出现的形式，采用上压式结构将刀片夹紧，如图 2-22a 所示。

2）圆孔可转位刀片。刀片中间有一圆柱形孔，用来将刀片安装夹紧在刀杆上，如图 2-22b 所示。

3）沉孔可转位刀片。刀片夹紧时，用一沉头螺钉穿入孔内直接将刀片夹紧在刀杆或刀体上，简化了刀具的夹紧结构，如图 2-22c 所示。

4）铣削用可转位刀片。为无孔刀片，目前该类刀片已制成带锥孔的用螺钉直接压紧的结构形式，刀具结构更简单、紧凑，如图 2-22d 所示。

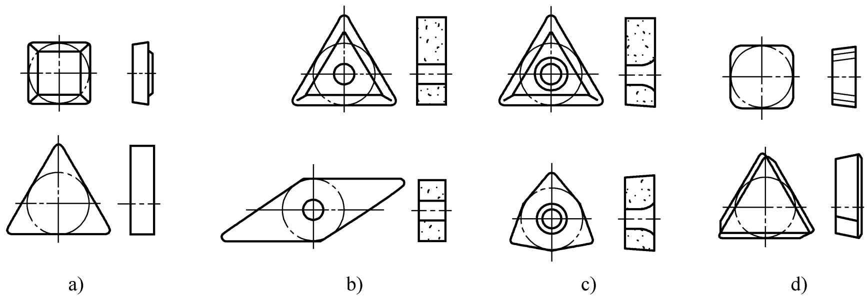


图 2-22　可转位刀片分类

a）无孔可转位刀片　b）圆孔可转位刀片　c）沉孔可转位刀片　d）铣削用可转位刀片

为了保证可转位刀具的刀片在转位或刀片更换后切削刃在刀体上位置不变，并具有相同的几何参数。在对可转位刀片的结构设计、几何尺寸、制造精度及选用等方面有如下基本要求：

1）刀片具有一定的制造精度，保证可转位刀片完全互换。

2）同一刀片上具有尽可能多的切削刃供转位使用，提高可转位刀片的利用率。

3）各切削刃要具有相同的几何参数，保证转位或更换后的切削效果不变。

4）刀片在刀具上定位与夹紧可靠。

5）具有足够的强度，以承受切削过程中的切削力及冲击、振动等。

6）刀片的断屑（卷屑）性能要好。

7）在保证上述要求的前提下，刀片几何形状应尽可能简单，刀片体积尽量小，以简化制造工艺，保证好的经济性。

可转位刀片的型号，刀片的定位、夹紧形式，刀垫的装夹形式等决定着可转位刀具的切削性能。因此，合理选用可转位刀片对发挥刀具的综合切削性能十分重要。下面从可转位刀片型号、定位夹紧及刀片选用几个方面介绍该刀具的选用。

2.3.2　可转位刀片的型号及表示方法

我国硬质合金可转位刀片的国家标准采用的是 ISO 国际标准，已经颁布了 6 项，即切削刀具可转位刀片型号表示规则 GB/T 2076—2007；硬质合金可转位刀片圆角半径 GB/T 2077—1987；带圆角圆孔固定的硬质合金可转位刀片尺寸

GB/T 2078—2007；无孔的硬质合金可转位刀片 GB/T 2079—1987；带圆角沉孔固定的硬质合金可转位刀片尺寸 GB/T 2080—2007；硬质合金可转位铣刀片 GB/T 2081—1987。

切削刀具用可转位刀片型号表示规则（GB/T 2076—2007）中，可转位刀片的型号由 10 个代表一定意义的字母和数字按一定顺序排列组成，其格式见表 2-12，各号位代号表示规则见表 2-13。

标准规定，任何一个型号刀片都必须具有前 7 个号位，后 3 个号位在必要时才使用。但对于车刀刀片，第 10 号位属于标准要求标注的部分。不论有无第 8、9 两个号位，第 10 号位都必须用短横线“－”与前面号位隔开，并且其字母不得使用第 8、9 两个号位已使用过的 7 个字母（F、E、T、S、R、L、N），当第 8、9 号位只使用其中一位时，则写在第 8 号位上，且中间不需空格。第 5、6、7 号位使用不符合标准规定的尺寸代号时，第 4 号位要用 X 表示，并需用略图或详细的说明书加以说明。

表 2-12　可转位刀片型号和代号

号位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
车刀片示例	T	N	U	M	16	03	08	E	R	－A4
铣刀片示例	S	P	A	N	12	03	ED	T	R	

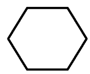
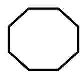
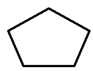
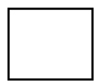
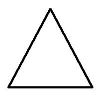
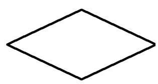
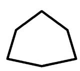
表 2-13　切削刀具用可转位刀片型号表示规则

<table>
<tr><th>号位</th><th>示例</th><th>表示特征</th><th colspan="10">代号规定</th></tr>
<tr><td>1</td><td>T</td><td>刀片形状</td><td colspan="10">用一个字母表示，见表 2-14</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">N</td><td rowspan="2">刀片法后角</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td><td>E</td><td>F</td><td>G</td><td>N</td><td>P</td><td>O</td></tr>
<tr><td>3°</td><td>5°</td><td>7°</td><td>15°</td><td>20°</td><td>25°</td><td>30°</td><td>0°</td><td>11°</td><td>其余</td></tr>
<tr><td>3</td><td>U</td><td>刀片的极限偏差等级</td><td colspan="10">用一个字母表示，主要尺寸（d、s、m）的极限偏差等级代号见表 2-15</td></tr>
<tr><td>4</td><td>M</td><td>刀片有无断屑槽和中心固定孔</td><td colspan="10">用一个字母表示，各字母代号见表 2-16</td></tr>
<tr><td>5</td><td>16</td><td>刀片边长</td><td colspan="10">用两位数字表示，取刀片理论边长的整数部分，如边长为 16.5mm 的刀片代号为 16；若舍去小数部分后只剩一位数，则在该数字前加“0”，如边长为 9.525mm 的刀片代号为 09</td></tr>
<tr><td>6</td><td>03</td><td>刀片厚度</td><td colspan="10">取舍去小数值的刀片厚度作代号，若舍去小数后只剩一位数字，则在该数字前加“0”；当刀片厚度的整数值相同，小数部分值不同时，则将小数部分值大的刀片代号用“T”代替“0”，如刀片厚度分别为 3.18mm 和 3.97mm 时，则前者代号为“03”，后者代号为“T3”</td></tr>
</table>

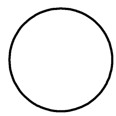
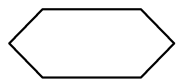
（续）

号位	示例	表示特征	代号规定
7	08	刀片转角形状和刀尖圆角半径	刀片刀尖转角为圆角时，用放大 10 倍的刀尖圆弧半径（r_ε）作代号。对于铣刀片，则用两个字母作代号，前一个字母表示主偏角 κ_r 大小，后一个字母表示修光刃法后角（α'_n）大小。尖角刀片和圆刀片的数字代号为“00”。r_ε、κ_r、和 α'_n 的代号规定见表 2-17
8	E	切削刃截面形状	用一个字母表示切削刃形状，见表 2-18
9	N	切削方向	用一个字母表示，见表 2-19
10	A2	切屑槽形式及槽宽	用一个字母和一个数字表示刀片断屑槽形式及槽宽，见表 2-20

表 2-14　表示刀片形状的字母代号

刀片形状	代号	形状说明	刀尖角 ε_r	示意图
等边等角	H	正六边形	120°	
	O	正八边形	135°	
	P	正五边形	108°	
	S	正方形	90°	
	T	正三角形	60°	
等边不等角	C D E M V	菱形①	80° 55° 75° 86° 35°	
	W	等边不等角六边形①	80°	

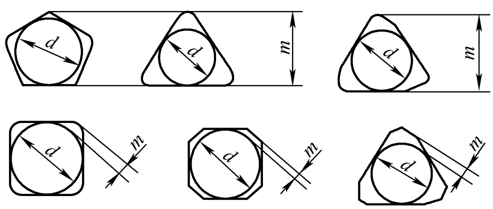
（续）

刀片形状	代号	形状说明	刀尖角 ε_r	示意图
等角不等边	L	矩形	90°	
不等边不等角	F	不等边不等角六边形	82°	—
	A B K	平行四边形	85° 82° 55°	
圆形	R	圆形	—	
不等边不等角立装	G	六角形	100°	

注：其他形状用 Z 表示。

① 表示角度是指较小的角度。

表 2-15　表示刀片精度等级的字母代号



d—刀片的内切圆基本直径；s—刀片的厚度；m—刀尖的位置尺寸（检查尺寸）

偏差等级代号		允许偏差/mm		
		m	s	d
精密级	A①	±0. 005	±0. 025	±0. 025
	B①	±0. 005	±0. 025	±0. 013
	C①	±0. 013	±0. 025	±0. 025
	H	±0. 013	±0. 025	±0. 013
	E	±0. 025	±0. 025	±0. 025
	G	±0. 025	±0. 130	±0. 025

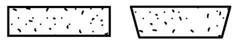
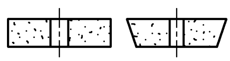
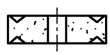
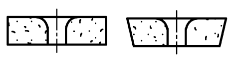
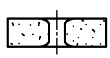
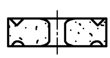
（续）

偏差等级代号		允许偏差/mm		
		m	*s*	*d*
普通级	J①	±0.005	±0.025	±0.05～±0.15②
	K①	±0.013	±0.025	±0.05～±0.15②
	L①	±0.025	±0.025	±0.05～±0.15②
	M	±0.08～±0.20②	±0.13	±0.05～±0.15②
	N	±0.08～±0.20②	±0.025	±0.05～±0.15②
	U	±0.13～±0.38②	±0.13	±0.08～±0.25②

① 通常用于具有修光刃的可转位刀片。

② 允许偏差取决于刀片尺寸的大小，每种刀片的尺寸允许偏差应按其相应的尺寸标准进行表示。

表 2-16　表示刀片有无断屑槽和中心固定孔的字母代号

代号	固定方式	断屑槽	示意图
N	无固定孔	无断屑槽	
R	无固定孔	单面有断屑槽（台）	
F	无固定孔	双面有断屑槽（台）	
A	有圆形固定孔	无断屑槽	
M	有圆形固定孔	单面有断屑槽	
G	有圆形固定孔	双面有断屑槽	
W	单面有 40°～60°固定沉孔	无断屑槽	
T	单面有 40°～60°固定沉孔	单面有断屑槽	
Q	双面有 40°～60°固定沉孔	无断屑槽	
U	双面有 40°～60°固定沉孔	双面有断屑槽	

（续）

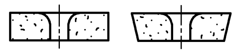
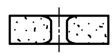
代号	固定方式	断屑槽	示意图
B	单面有 70°～90°固定沉孔	无断屑槽	
H		单面有断屑槽	
C	双面有 70°～90°固定沉孔	无断屑槽	
J		双面有断屑槽	
X	其他尺寸和详情，需图形和附加说明		—

表 2-17　刀尖圆角半径或刀片转角形状

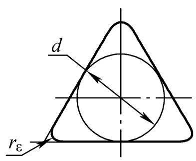
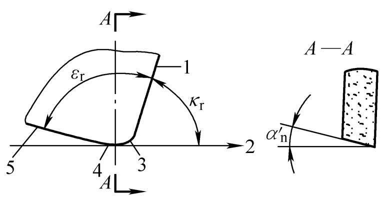
车刀片		铣刀片			
					
d—刀片内切圆直径		1—主切削刃　2—假定进给方向　3—倒角　4—修光刃　5—副切削刃 κ_r—主偏角　ε_r—刀尖角			
代号	r_ε/mm	代号	κ_r（°）	代号	α'_n（°）
00	<0.2			A	3
02	0.2			B	5
04	0.4	A	45	C	7
08	0.8	D	60	D	15
12	1.2	E	75	E	20
16	1.6	F	85	F	25
20	2.0	P	90	G	30
24	2.4			N	0
32	3.2			P	11

表 2-18　切削刃截面形状的表示方法

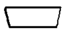
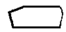
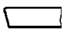
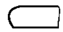
符号	简图	说明	符号	简图	说明
F		尖锐切削刃	T		倒棱切削刃
E		倒圆切削刃	S		既倒棱又倒圆切削刃

表 2-19　切削方向的表示方法

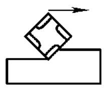
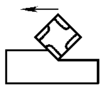
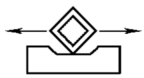
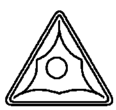
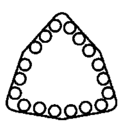
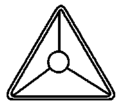
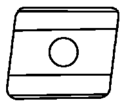
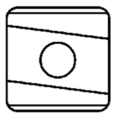
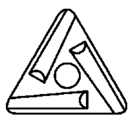
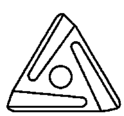
符号	简图	说明
R		右切
L		左切
N		左右切

表 2-20　断屑槽形式及应用

代号	形式	特点	应用范围
A		前后等宽，开口不通槽，这种槽形断屑范围比较窄。槽宽有 2mm、3mm、4mm、5mm、6mm、8mm、10mm 7 种，可根据被加工材料及切削用量选用	主要用于切削用量变化不大的外圆、端面车削，其左刀片也用于内孔镗刀
B		该槽形系圆弧变截面全封闭式，断屑范围广	适于硬材料及各种材质的半精加工、精加工，以及耐热钢的半精加工
C		前后等宽、等深、开口半通槽，切削刃上带 6°正刃倾角	断屑范围较大，单位切削力小，排屑效果好
D		槽形特点是沿切削刃有一排半圆球形小凹坑	主要用于可转位钻削刀片，切屑成宝塔形，效果较好

（续）

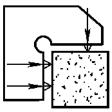
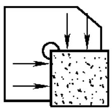
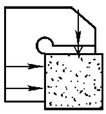
代号	形式	特点	应用范围
G		这种断屑槽形无反屑面，前面呈内孔下凹的盆形，前角较小	主要用于车削铸铁等脆性材料
H		槽形的特点同 A 型，但槽沿切削刃一边全开通	主要适用于主偏角为 45°和 75°的车刀，可用于较大用量的切削
J		该槽形与 H 型相似，但槽宽不等，为前宽后窄的外斜式	断屑范围较大，适用于粗车
K		该槽形是前窄后宽、开口半槽。其目的是当切削深度小时，在刀片的靠刀尖处切削，槽窄些；当切削深度较大时，槽也相应宽一些，切屑变形较复杂，容易折断，断屑范围较宽	在断屑比较困难的端面车削时，其断屑效果较好
P		带弧形全封闭式，断屑效果好，切削力不大，排屑方向理想，切屑不飞溅	断屑范围较宽，与变截面槽形相似，切削深度和进给量变化时，也能断屑
V		该槽形是前后等宽的封闭式通槽，是最常用的一种槽形，断屑范围较大，当切削深度及进给量较小时，也能很好断屑	可用于外圆、端面、内孔精车、半精车及镗削。刀尖强度比开口槽的刀片要高一些，适用于粗车
W		属三级断屑的封闭式通槽，断屑范围大，切削深度和进给量很小时也能断屑。但由于这种槽形的前角较小，切削力比较大，切屑也容易飞溅	适用于切削用量变化范围大和机床、工件刚性好的仿形车床、自动车床的加工
Y		槽形特点是前宽后窄、斜式半通，这种槽形应用范围较宽，而切削较轻快，排屑流畅，多是管形螺旋屑或锥形螺旋屑	主要用于粗车，断屑效果好

2.3.3 可转位刀片的夹紧方式和典型结构

1. 可转位刀片的定位

可转位刀片的定位是指确定刀片在刀体上的正确位置，即使刀片在切削刃转位或更换新的刀片时，还能保持刀片原有的位置尺寸和精度。为了保证可转位刀片可靠定位及定位精度，刀片装夹定位时要符合切削力定位夹紧原理，即切削力的合力必须作用在刀片支承面周界内，同时要满足三点定位原理。刀片周边定位的方式见表 2-21。

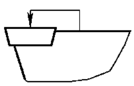
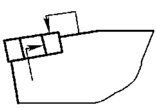
表 2-21 刀片周边定位的方式

方式	示意图	特 点
三点定位		可减少刀片、刀片槽制造误差对刀片定位精度的影响，装夹刀片时，切屑、杂物也不易嵌在定位点上，定位精度高。但在切削冲击大时，定位精度保持时间较短
面定位		定位接触面积大，载荷分散，支承稳定，定位精度保持时间长。但刀片槽、刀片的形状误差对定位精度影响大
点、面定位		介于上面两种方式之间，一般承受切削力大的一侧采用面接触定位

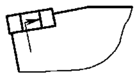
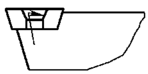
2. 可转位刀片的夹紧

刀片的夹紧方式受刀片形状、刀具尺寸和刀具用途等因素的影响，在加紧时，必须满足切削力必须作用在刀片支承面周界内，同时切削力与装夹力的合力在定位基面上所产生的摩擦力必须大于切削振动、离心力等引起的使刀片脱离定位基面的交变力。表 2-22 是几种可转位刀片的夹紧方式。

表 2-22 刀片的夹紧方式

代号	刀片的夹紧方式	特 点
顶面夹紧 C		装无孔刀片，从刀片上方将刀片夹紧
顶面和圆柱孔夹紧 M		装圆孔刀片，从刀片上方并利用刀片孔将刀片夹紧，如楔块式

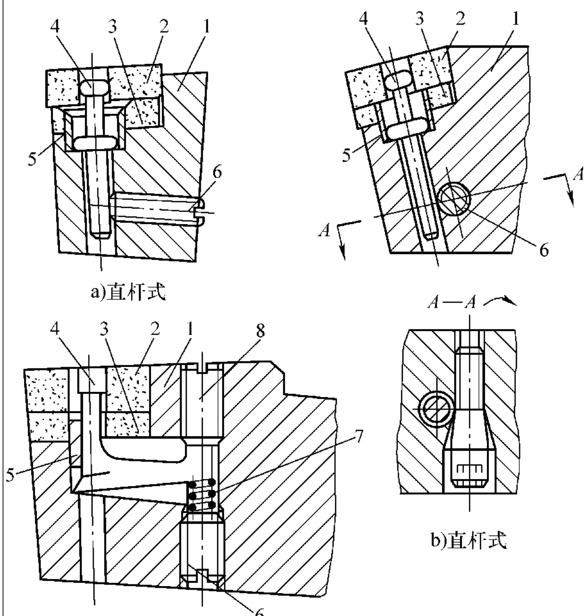
（续）

代号	刀片的夹紧方式	特　　点
圆柱孔夹紧 P		装圆孔刀片，利用刀片孔将刀片夹紧，如杠杆式、偏心式等
沉孔夹紧 S		装沉孔刀片，螺钉直接穿过刀片孔将刀片夹紧，如压孔式

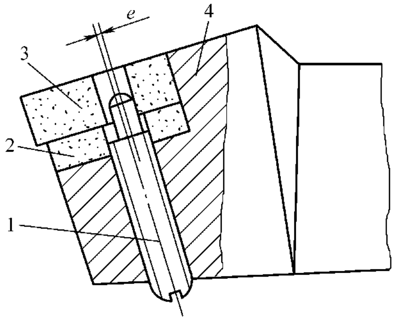
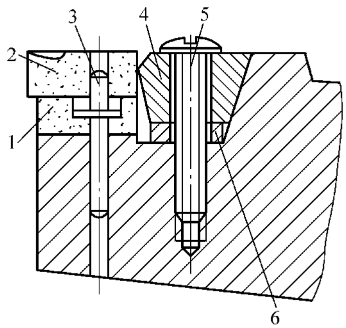
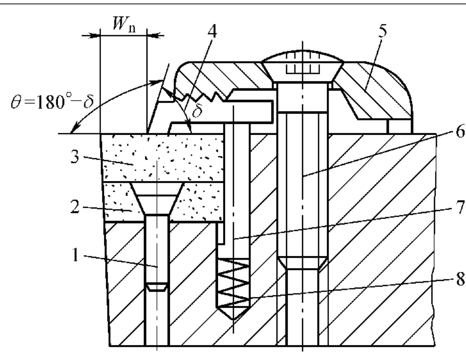
3. 常用可转位车刀刀片夹紧结构

可转位车刀刀片的典型夹紧结构型式及其特点见表 2-23。

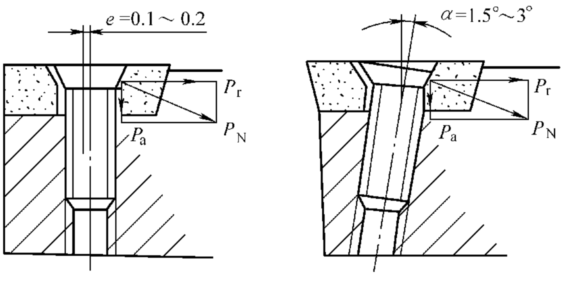
表 2-23　可转位车刀刀片的典型夹紧结构型式及特点

名称	结构简图	工作原理
杠杆式	 1—刀体　2—刀片　3—刀垫　4—杠销（曲杆） 5—弹簧套　6、8—螺钉　7—弹簧	如左图所示，杠杆式夹紧机构有直杆式和曲杆式两种结构形式。图 a 所示为直杆式结构。当旋进螺钉 6 时，顶压杠销 4 的下端，杠销以中部鼓形柱面为支点而倾斜，借上端的鼓形柱面将刀片压向刀槽两定位侧面并紧固。刀垫 3 用弹簧套 5 定位。松开刀片时，刀垫借弹簧套的张力保持原来位置而不会松脱。图 b 也是直杆式结构，所不同的是靠螺钉锥体部分推压杠销下端 图 c 所示为曲杆式结构。刀片 2 由曲杆 4 通过螺钉 8 夹紧，曲杆以其拐角凸部为支点摆动，弹簧 7 在松开螺钉 8 后反弹曲杆起松开刀片的作用，弹簧套 5 制成半圆柱形。刀垫 3 就是靠弹簧套的张力定位在刀槽中。弹簧套的内壁与曲杆之间有较大间隙，便于曲杆在其中摆动。这种曲杆式夹紧机构是靠刀片两个侧面定位的，所以定位精度较高，刀片受力方向较为合理，夹紧可靠，刀头尺寸小，刀片装卸灵活，使用方便，是一种受欢迎的较好的夹紧形式；缺点是结构复杂，制造较困难

（续）

名称	结构简图	工作原理
偏心销式	 1—偏心销　2—刀垫　3—刀片　4—刀杆	左图所示为偏心销式夹紧机构，它以螺钉作为转轴，螺钉上端为偏心圆柱销，偏心量为 e。当转动螺钉时，偏心销就可以夹紧或松开刀片，也可以用圆柱形转轴代替螺钉。但偏心螺钉销利用了螺纹自锁性能，增加了防松能力。这种夹紧结构简单，使用方便。其主要缺点是很难保证双边的夹紧力均衡，当要求利用刀槽两个侧面定位夹固刀片时，要求转轴的转角公差极小，这在一般制造精度下是很难达到的。因此实际上往往是单边夹紧，在冲击和振动下刀片容易松动，这种结构适用于连续平稳的切削
楔销式	 1—刀垫　2—刀片　3—销轴　4—楔块　5—螺钉　6—弹簧片	左图所示为楔销式夹紧机构，刀片由销轴在孔中定位，楔块下压时把刀片推压在圆柱销上。松开螺钉时，弹簧垫圈自动抬起楔块。这种结构夹紧力大，简单方便。但定位精度较低，且夹紧时刀片受力不均
上压式	 1—销轴　2—刀垫　3—刀片　4—压板　5—锥孔板　6—螺钉　7—支钉　8—弹簧	上述三种夹紧结构仅适用于带孔的刀片，对于不带孔的刀片，特别是带后角的刀片，则需采用上压式结构，如左图所示。这种结构的夹紧力大，稳定可靠，装夹方便，制造容易。对于带孔刀片，也可采用销轴定位和上压式夹紧的组合方式。上压式的主要缺点是刀头尺寸较大

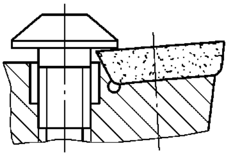
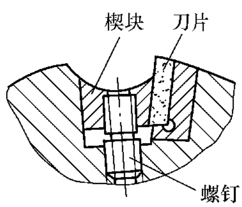
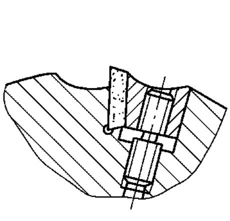
（续）

名称	结构简图	工作原理
压孔式	 a)　b)	用沉头螺钉直接紧固刀片，如左图所示。此结构紧凑，制造工艺简单，夹紧可靠。刀头尺寸可做得较小，其定位精度由刀体定位面保证，适合于对容屑空间及刀具头部尺寸有要求的情况下

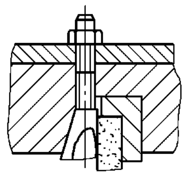
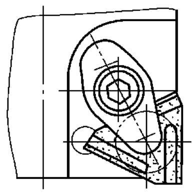
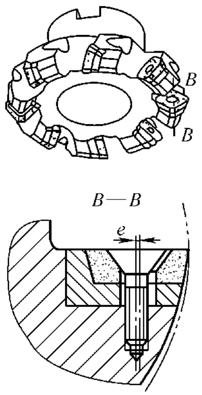
4. 常用可转位铣刀刀片的夹紧结构

铣刀片的夹紧方式很多，并有相应的典型结构，各种典型结构又有其各自的特点。表 2-24 为常用的铣刀片夹紧方式的典型结构及其特点。

表 2-24　铣刀片夹紧方式典型结构及其特点

名称	结构简图	夹紧方式特点
蘑菇头螺钉夹紧		蘑菇头螺钉将刀片压在刀体定位槽内，夹紧力方向与主切削力方向一致，特点是结构合理、夹持牢靠、无径向、轴向窜动、转位迅速
螺钉楔块前压式夹紧		楔块在刀片前面夹紧，楔块的顶面加工成凹形作排屑槽用，刀片后面装有刀垫，防止打刀时顶坏刀体，螺钉两头分别为左右旋螺纹，便于松开楔块 优点是夹紧力大，排屑和打刀都不会损坏刀体。缺点是楔块形成的排屑槽不光滑，同时楔块压着刀片切削平面的一半，排屑不畅，刀片和楔块磨损较快，同时，由于以刀片的背面定位，对刀片尺寸（厚度）精度要求严格
螺钉楔块后压式夹紧		楔块在刀片后面夹紧，同时也代替了刀垫的作用 优点是结构简单，以楔块代替刀垫，铣刀可以排布较多的刀齿，打刀时也不会损坏刀体，切屑流动通畅，以刀片的前面定位，刀片的厚度偏差不会影响刀齿的径向跳动。缺点是夹紧力的方向与切削力的方向相反，必须使用更大的夹紧力

（续）

名称	结构简图	夹紧方式特点
拉杆楔块夹紧		用拉杆和楔块组成的整体夹紧元件，拧紧面铣刀背面的螺母即可夹紧刀片，松开螺母轻轻敲击拉杆的后端就可打开刀片。主要适用于密齿面铣刀 优点是结构紧凑、制造方便、夹紧牢靠。缺点是排屑不流畅，打开时要轻轻敲击拉杆后端，容易损坏拉杆
用压板压紧刀片		用压板将刀片压紧在铣刀体的刀片槽内。刀片槽是半封闭式，轴向和径向都不能调整，刀片下面可以用垫片，也可不用垫片。大多用在直径小、齿数少、刀片位置精度不可调整的套式或柄式可转位面铣刀上 优点是结构简单、制造容易、夹紧可靠，刀片也不会松动或窜动。缺点是刀片位置不可调整，刀片槽的位置精度要求很严
压孔压紧		采用带孔刀片，夹紧螺钉穿过刀片孔，将刀片直接压紧在刀片座上，主要用于模块式面铣刀 优点是结构简单，没有突出的压紧元件，便于切屑通畅流动，装卸刀片和夹紧都较快，夹紧也很可靠。缺点是刀片位置精度不能调整，要求制造精度很高，与楔块夹紧方式相比，压紧力较小，切削温度升高后，由于刀片膨胀，会使螺钉拆卸困难

选择铣刀片的夹紧方式时，除了要满足刀片夹紧的基本要求，还应考虑刀片在刀体上的平装和立装两种安装方式：平装式是指刀片沿刀体的径向排列安装；立装是指刀片沿刀体的切向排列安装。

刀片平装（刀片径向排列）如图 2-23 所示，这种刀片安装方式使用最为广泛，其优点是：

1）刀片安装和受力的支承面大。

2）用楔块在刀片的前面或后面压紧，刀片夹紧牢靠。

3）刀片后面装有刀垫或楔块，打刀时，不会损坏铣刀刀体。

4）拧松楔块的螺钉，刀片即可取出，刀片转角或更换都很方便。

刀片立装（刀片切向排列）如图 2-24 所示，这种刀片安装方式的优点是：

1）刀片切向排列，刀片本身承受切削力的截面大。

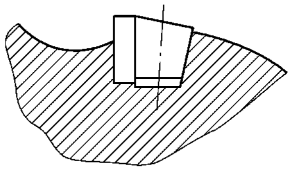


图 2-23　刀片平装
（刀片径向排列）

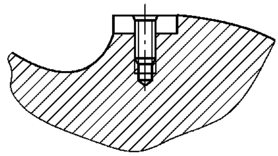


图 2-24　刀片立装
（刀片切向排列）

2）刀片采用切削力夹紧，只用一个螺钉将刀片固定在刀体上，结构简单，容屑槽大，排屑通畅。

3）刀片后面允许较宽的磨损区，刀片不易崩刃和损坏。

4）结构简单，无需储存多种夹紧备件。

2.3.4　可转位刀片的选用

1. 刀片形状的选择

刀片刀尖角大小决定了刀片形状，也直接影响刀尖强度。一般刀尖角越大，刀尖强度越高，反之亦然。国家标准所规定的代号中，R 型（圆形刀片）刀尖角最大，V 型（35°菱形刀片）刀尖角最小。因此，按刀尖角大小顺序排列为：R > O > H > P > S > L > M > A > B > W > C > E > T > K > D > V。

此外，刀片形状也直接关系到可转位刀片有效切削刃的数量。从刀片形状这个单一因素考虑，在机床刚性、功率允许的条件下，大余量、粗加工应采用刀尖角较大的型号；反之，机床刚性、功率较低，进行小余量、精加工宜采用较小的刀尖角和有效切削刃多的型号。

但必须指出的是，被加工零件形状是选择刀片形状的第一依据。以车削为例，要车削具有 90°台阶外圆，采用刀尖角大于等于 90°的刀片是不可能进行的，必须采用刀尖角不超过 80°的刀片。其次，刀尖强度较高，可用切削刃较多的 W 型，次之为 T 型。

另外，某些刀片形状的使用范围有其唯一性（专用性），例如 D 型、V 型车削刀片一般只在仿形车削中才用。R 型在仿形（有 R 台阶）或盘状类零件（车轮）、钢材外圆车削中才采用。

2. 主切削刃后角

可转位刀片主切削刃后角，在国家标准中共制定了九个等级（N 型～G 型，$\alpha_o = 0° \sim 30°$）。刀片主切削刃法平面的楔角由 90°减少到 60°切削刃强度由大变小。同时，刀片与刀体组合后，刀具的前角由负前角逐步过渡到正前角。

主切削刃后角型号一般选择原则为：

（1）可转位车刀片后角的选用　凡重负荷粗加工车削可转位刀片一律选用

N 型 0°后角刀片；带断屑槽形（各种）的 N 型刀片分别可选用为精密加工、半精加工、粗加工；B 型、C 型、P 型选用为精加工、半精加工；铝及非金属材料车削刀片，宜选用 E 型。

（2）孔加工刀片后角的选用　一般镗孔刀片选用 C 型、P 型，大尺寸孔可选用 N 型；钻孔刀具用刀片，选用 C 型、P 型。

（3）可转位铣刀片后角的选用　面铣刀用刀片在强冲击切削下用 N 型，一般铣削用 P 型、D 型，不锈钢类难加工材料宜选用 E 型、D 型，铝及非金属材料宜选 F 型，有色金属常用 E 型；立铣刀用刀片常为 D 型、P 型；立装结构刀片选用 N 型；三面刃铣刀用刀片为 P 型。

3. 刀片精度的选择

刀片精度共分十二个等级。车削类常用等级为 G、M、U；铣削类常用等级为 A、C、K、E。在现代刀片中 U 级刀片已基本不生产。

刀片精度选择的共性原则为精密加工选用高精度等级刀片。但选择中考虑具体因素：对多刃刀具（如立铣刀）所用刀片精度等级的选择要严于单刃刀具，因为它直接影响刀具与被加工零件的精度及加工表面粗糙度；在自动线上所用可转位刀片精度等级选择要严于一般切削加工；在有机外对刀仪或机载自动对刀装置的场合，对车削刀片精度等级的选择，可略为放宽。

可转位刀片精度等级一般选用原则如下。

（1）对于可转位车刀片　精密加工作业一律选用 G 级刀片；此外，非铁金属材料的精加工、半精加工也宜选用 G 级刀片；淬硬（45HRC 以上）钢的精加工也选用 G 级刀片；精加工至重负荷粗加工作业除上述两种特例外，都可选用 M 级刀片；粗加工及重负荷粗加工作业也可采用 U 级刀片。

（2）对于可转位铣刀片　可转位铣刀品种多，结构较车刀复杂，可转位铣刀片精度等级选择因刀具品种不同而有较大区别，现将面铣刀常用刀片精度等级概述如下。

1）精密铣削选用 A 级，在铣削表面粗糙度 $Ra=0.6\mu m$ 左右时，可采用立装 C 级沉孔刀片。

2）精铣一般选用 A 级，在铣刀有精密微调机构或带刮削刀片时可选用 H 级、C 级。

3）半精铣选择 C 级、H 级。

4）粗铣、重负荷铣削常用 K 级，但立装刀片有时选 C 级。

5）铝、铝合金、铜、不锈钢的半精铣、粗铣因刀具品种不同，常选用 C 级或 H 级、E 级。

在实际应用中，除精密铣削、重负荷粗铁外，往往是用同一把刀具将几种加工在一次装夹状态下完成，因此应以最终作业来选择刀片精度等级。

4. 刀片的固定形式

国家标准规定的刀片固定形式共 14 种，标准中留给刀片制造厂备用型号 X 型，以便刀片结构的发展。在 14 个代码中，无孔刀片占 N、R、E 三个代码；直孔刀片占 A、M、G 三个代码；沉孔刀片共占八个代码。

刀片固定形式的选择实际上就是对刀具装夹结构的选择，在选择具体型号规格的刀具后刀片固定形式就已确定，用户对刀片的选择自由度只存在三个方面：刀片精度等级的选择；刀片断屑槽形的选择；0°后角（N 型）刀片的单面或双面结构的选择。各类刀片具体装夹结构选用原则如下。

1）在陶瓷、钛基硬质合金、钨基硬质合金（含涂层合金）三类材料可转位刀片中，陶瓷刀片固定形式最少，常选用 N 型、A 型，国内增加了 R 型。相反，陶瓷刀片的装夹可靠性及稳定性要求高，甚至采用双重夹紧方式。而另两类硬质合金可采用所规定的全部固定形式。

2）在排屑空间受限制的加工环境，例如中小尺寸的内孔镗削刀具及浅孔钻、深孔钻中，宜选用 W 型、H 型固定形式可转位刀片。同理，在立铣刀特别是螺旋立铣刀中优先选用 W 型、H 型，有时也采用 N 型。

3）凡立装刀片原则上都选用沉孔固定形式（无论是车刀刀片还是铣刀刀片），这是刀片结构特征所决定的。

4）对应用面最大的外圆车刀及面铣刀，前者选用 M 型、G 型最多，后者选用 N 型最多。在现代外圆车刀上也采用 H 型固定形式（紧固特殊刀头的沉孔螺钉，转半圈即可装卸刀片）。

5. 刀片切削刃长度

在工件外形、加工余量和机床的有效功率等方面许可的范围内，以尽量少影响刀具寿命为前提，应尽可能地选择大的背吃刀量来进行加工（除精密切削外）。刀片切削刃长度的选择应根据在切削过程中最大背吃刀量来考虑。一般情况下，切削刃的长度应根据加工余量来定，最多是刃长的 2/3 参加切削。

6. 刀片的断屑槽

刀片断屑槽选择参见表 2-20 断屑槽形式及应用来选用。

第 3 章　数控刀具材料

3.1　数控加工对刀具材料的要求

刀具材料是指刀具切削部分的材料。它的性能优劣是影响加工表面质量、切削效率、刀具寿命的重要因素。选用新型刀具材料不但能有效地提高切削效率、加工质量和降低成本，而且往往是解决某些难加工材料的工艺关键。切削加工时，刀具切削部分直接和工件及切屑相接触，承受着很大的切削压力和冲击，并受到工件及切屑的剧烈摩擦，产生很高的切削温度。也就是说，刀具切削部分是在高温、高压及剧烈摩擦的恶劣条件下工作的。因此，刀具材料应具备以下基本性能。

1. 高硬度

刀具材料的硬度必须更高于被加工工件材料的硬度，否则在高温高压下，就不能保持刀具锋利的几何形状，这是刀具材料应具备的最基本特征。目前，切削性能最差的刀具材料——碳素工具钢，其硬度在室温条件下也应在 62HRC 以上；高速钢的硬度为 63 ~ 70HRC；硬质合金的硬度为 89 ~ 93HRA。

HRC 和 HRA 都属于洛氏硬度，HRA 硬度一般用于高值范围（大于 70）。HRC 硬度值的有效范围是 20 ~ 70 之间。60 ~ 65HRC 的硬度相当于 81 ~ 836HRA 和维氏硬度 687 ~ 830HV。

2. 足够的强度和韧性

刀具切削部分的材料在切削时要承受很大的切削力和冲击力。例，车削 45 钢时，当 $\alpha_p = 4\text{mm}$，$f = 0.5\text{mm/r}$ 时，刀片要承受约 4000N 的切削力。因此，刀具材料必须要有足够的强度和韧性。一般用刀具材料的抗弯强度 σ_b（Pa）表示它的强度大小，用冲击韧度 α_k（J/m^2）表示其韧性的大小，它反映刀具材料抵抗脆性断裂和崩刃的能力。

3. 高耐磨性和耐热性

刀具材料的耐磨性是指抵抗磨损的能力。一般来说，刀具材料硬度越高，耐磨性也越好。此外，刀具材料的耐磨性还和金相组织中化学成分，硬质点的性质、数量、颗粒大小和分布状况有关。金相组织中碳化物越多，颗粒越细，分布越均匀，其耐磨性就越高。

刀具材料的耐磨性和耐热性有着密切的关系。其耐热性通常用它在高温下保

持较高硬度的性能即高温硬度来衡量，或称为红硬性。高温硬度越高，表示耐热性越好，刀具材料在高温时抗塑性变形的能力、抗磨损的能力也越强。耐热性差的刀具材料，由于高温下硬度显著下降而导致快速磨损乃至发生塑性变形，丧失其切削能力。

4. 良好的导热性

刀具材料的导热性用热导率［单位为 W/(m · K)］来表示。热导率大，表示导热性好，切削时产生的热量容易传导出去，从而降低切削部分的温度，减轻刀具磨损。此外，导热性好的刀具材料其耐热冲击和抗热龟裂的性能增强，这种性能对采用脆性刀具材料进行断续切削，特别是在加工导热性能差的工件时尤为重要。

5. 良好的工艺性和经济性

为了便于制造，要求刀具材料有较好的可加工性，包括锻压、焊接、切削加工、热处理、可磨性等。经济性是评价和推广应用新型刀具材料的重要指标之一，也是正确选用刀具材料、降低成本的重要依据之一。

目前金属切削加工中应用的刀具材料，碳素工具钢已基本被淘汰，合金工具钢也很少使用，所使用的刀具材料主要分为高速钢、硬质合金、陶瓷、立方氮化硼和聚晶金刚石五类，其主要力学性能见表 3-1，目前数控加工中用得最普遍的刀具是硬质合金刀具。

表 3-1　常用的刀具材料力学性能

<table>
<tr><th colspan="2">材料种类</th><th>密度/$g\cdot cm^{-3}$</th><th>硬度</th><th>抗弯强度/GPa</th><th>冲击韧度/$MJ\cdot m^{-2}$</th><th>热导率/$W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$</th><th>耐热性/℃</th><th>线膨胀系数/$10^{-6}℃^{-1}$</th></tr>
<tr><td colspan="2">高速钢</td><td>8.0 ~ 8.8</td><td>63 ~ 70HRC</td><td>2 ~ 4.5</td><td>0.098 ~ 0.588</td><td>16.75 ~ 25.1</td><td>600 ~ 700</td><td>9 ~ 12</td></tr>
<tr><td rowspan="4">硬质合金</td><td>钨钴类</td><td>14.3 ~ 15.3</td><td>89 ~ 92HRA</td><td>1.08 ~ 2.35</td><td>0.019 ~ 0.059</td><td>75.4 ~ 87.9</td><td>800</td><td rowspan="3">3 ~ 7.5</td></tr>
<tr><td>钨钛钴类</td><td>9.35 ~ 13.2</td><td>89 ~ 92.5HRA</td><td>0.9 ~ 1.4</td><td>0.0029 ~ 0.0068</td><td>20.9 ~ 62.8</td><td>900</td></tr>
<tr><td>碳化钽、铌类</td><td>—</td><td>91 ~ 92HRA</td><td>~ 1.5</td><td>—</td><td>—</td><td>1000 ~ 1100</td></tr>
<tr><td>碳化钛基类</td><td>5.56 ~ 6.3</td><td>92 ~ 93.3HRA</td><td>0.78 ~ 1.08</td><td>—</td><td>—</td><td>1100</td><td>8.2</td></tr>
<tr><td rowspan="3">陶瓷</td><td>氧化铝陶瓷</td><td rowspan="2">3.6 ~ 4.7</td><td rowspan="2">91 ~ 95HRA</td><td>0.44 ~ 0.686</td><td rowspan="2">0.0049 ~ 0.0117</td><td rowspan="2">4.19 ~ 20.93</td><td>1200</td><td rowspan="2">6.3 ~ 9</td></tr>
<tr><td>氧化物、碳化物系陶瓷</td><td>0.71 ~ 0.88</td><td>1100</td></tr>
<tr><td>氮化硅陶瓷</td><td>3.26</td><td>5000HV</td><td>0.735 ~ 0.83</td><td>—</td><td>37.68</td><td>1300</td><td>3.2 ~ 3.7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">超硬材料</td><td>立方碳化硼</td><td>3.44 ~ 3.49</td><td>8000 ~ 9000HV</td><td>~ 0.294</td><td>—</td><td>75.55</td><td>1400 ~ 1500</td><td>4.8</td></tr>
<tr><td>人造金刚石</td><td>3.47 ~ 3.56</td><td>10000HV</td><td>0.21 ~ 0.48</td><td>—</td><td>146.54</td><td>700 ~ 800</td><td>0.9 ~ 1.2</td></tr>
</table>

3.2 高速钢刀具材料的种类、性能和特点

高速钢是一种含钨（W）、钼（Mo）、铬（Cr）、钒（V）等合金元素较多的工具钢，它具有较好的力学性能和良好的工艺性，可以承受较大的切削力和冲击，特别适合于制造各种小型及结构和形状复杂的刀具，如成形车刀、钻头、拉刀、齿轮刀具和螺纹刀具等。随着材料科学的发展，高速钢刀具材料的品种已从单纯型的 W 系发展到 WMo 系、WMoAl 系、WMoCo 系，其中 WMoAl 系是我国所特有的品种。同时，由于高速钢刀具热处理技术（真空、保护气热处理）的进步及成形金属切削工艺（全磨制钻头、丝锥等）的更新，使得高速钢刀具的红硬性、耐磨性和表面层质量都得到了很大的提高和改善。因此高速钢仍是数控加工用刀具材料的选择对象之一。

高速钢的品种繁多，按切削性能可分为普通高速钢和高性能高速钢；按化学成分可分为钨系、钨钼系和钼系高速钢；按制造工艺不同，分为熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。

3.2.1 普通高速钢

1. 钨系高速钢

典型钢种为 W18Cr4V（简称 W18），是我国最常用的一种高速钢。由于含钒量少，磨削性能好，其刃口可以磨得锋利平直，通用性强，综合性能好。常温硬度为 63～66HRC，600℃高温时能保持 48.5HRC 的硬度。W18 的热处理工艺性好，抗塑性变形能力强，用于制造螺纹车刀、成形车刀、拉刀和齿轮刀具等形状复杂的刀具。W18 的缺点是碳化物分布常不均匀，剩余碳化物颗粒较大，如锻造不均，会影响薄刃刀具的使用寿命，制造大截面刀具时的抗弯强度显得不够。此外，W18 热塑性较差，不适合作为热轧刀具。鉴于上述缺点以及国际市场钨价的提高，W18 已经逐渐被新钢种代替。

我国生产的另外一种钨系高速钢是 W14Cr4VMn，因加入了少量的锰和铼（Re），改善了碳化物分布状况并增大了热塑性。W14Cr4VMn 的锻造、轧制工艺性和磨削加工性能良好，强度稍高于 W18，切削性能与 W18 相当，热处理温度范围较宽，适合制作如麻花钻等热轧刀具。

2. 钨钼系高速钢

国内常用的钨钼系高速钢典型钢种是 W6Mo5Cr4V2（简称 M2），由于钼的加入，减少了钢中的钨等合金元素，降低了碳化物数量及其分布的不均匀性，细化了晶粒。与 W18 相比，M2 的抗弯强度提高 17% 左右、冲击韧度提高 40% 以

上，用于制造承受较大冲击力的刀具（如插齿刀）、结构比较薄弱的刀具（如麻花钻、丝锥）和截面较大的刀具。M2 的热塑性、磨削加工性好，特别适用于制造轧制或扭制钻头等热成形刀具。M2 的红硬性略低于 W18，故高温切削性能稍差。另外，热处理时脱碳倾向性大，淬火温度范围比较窄。

新牌号的普通高速钢 W9Mo3Cr4V（简称 W9）是根据我国资源情况研制的含钨量较多、含钼量较少的钨钼钢。其硬度为 65～66.5HRC，有较好硬度和韧性，抗弯强度和冲击韧度高于 M2，热塑性、热稳定性都较好。由于含钒量少，其磨削加工性比 M2 好，磨削效率比 M2 高 20%，表面粗糙度值也小，可用于制造锯条、钻头、拉刀、铣刀和齿轮刀具等各种刀具；加工钢料时，刀具寿命比 W18 和 M2 都有一定的提高。

3.2.2　高性能高速钢

高性能高速钢是指在普通高速钢中加入一些合金元素，如 Co、Al、V 等，使其耐热性、耐磨性又有进一步提高，热稳定性高。主要用来加工不锈钢、耐热钢和高温合金等难加工材料。

1. 高碳高速钢

我国生产的高碳高速钢有 9W8Cr4V（简称 9W18）和 9W6Mo5Cr4V2（简称 CM2），常温硬度可达 66～68HRC，600℃时的硬度提高到 51～52HRC，适用于制作耐磨性要求高的铰刀、锪钻和丝锥等刀具，也可用于切削奥氏体不锈钢。但钢中含碳量的增加使淬火残余奥氏体增多，需要增加回火次数，同时韧性降低，不能承受大的冲击。

2. 铝高速钢

含铝超硬高速钢 W6Mo5Cr4V2Al（简称 501）和 W10Mo4Cr4V3Al（简称 5F－6）是我国独创的新钢种。常温硬度达 67～69HRC，600℃时的硬度达到 54～55HRC，切削性能与钴高速钢 M42 相当，刀具寿命比 W18 提高 1～2 倍以上，而价格却相差不多。因含钒量多，其磨削加工性较差，且过热敏感性强，氧化脱碳倾向较大，使用时要严格掌握热处理工艺。

3. 钴高速钢

高速钢中加入钴可提高钢的热稳定性、常温和高温硬度及抗氧化能力，改善高速钢的导热性，降低摩擦系数，从而提高切削速度。如 M42（W2Mo9Cr4VCo8），常温硬度达 67～69HRC，600℃时的硬度达到 54～55HRC。适合于制造加工高温合金、钛合金及其他难加工材料的高速钢刀具。由于我国钴资源有限，目前生产和使用不多。

4. 高钒高速钢

由于形成大量高硬度、耐磨的碳化钒弥散在钢中，提高了高速钢的耐磨性，

且能细化晶粒和降低钢的过热敏感性。适合于加工硬橡胶、塑料等对刀具磨损严重的材料。对低速薄切屑精加工刀具，如拉刀、铰刀和丝锥等，高钒高速钢具有较长的寿命。其主要缺点是磨削加工性差，主要牌号有 W6Mo5Cr4V3、W12Cr4V4Mo 等。

3.2.3 粉末冶金高速钢

粉末冶金高速钢是通过高压惰性气体或高压水雾化高速钢水而得到的细小的高速钢粉末，然后压制或热压成形，再经烧结而成的高速钢，由于其使用性能好，其应用日益增加。

粉末冶金高速钢与熔炼高速钢比较有如下优点：

1）由于可获得细小均匀的结晶组织（碳化物晶粒 2～5μm），从而完全避免了碳化物的偏析，提高了钢的硬度与强度，能达到硬度 69.5～70HRC，抗弯强度 σ_b = 2.73～3.43GPa。

2）由于物理性能各向同性，可减少热处理变形与应力，因此可用于制造精密刀具。

3）由于钢中的碳化物细小均匀，使磨削加工性得到显著改善，含钒量多者，改善程度就更显著。利用这一独特的优点，并增加合金元素和加入大量碳化物，将使得粉末冶金高速钢能用于制造新型超硬高速钢，而不降低其刃磨工艺性，这是熔炼高速钢无法比拟的。

粉末冶金高速钢目前应用尚少的原因是成本较高。因此主要使用范围是制造成形复杂刀具，如精密螺纹车刀、拉刀、切齿刀具等，以及加工高强度钢、镍基合金、钛合金等难加工材料用的刨刀、钻头、铣刀等刀具。

3.2.4 涂层高速钢

高速钢刀具的表面涂层是采用物理气相沉积（PVD）方法，在适当的高真空与温度环境下进行气化的钛离子与氮反应，在阳极刀具表面上生成 TiN，涂层厚度约 2μm，涂层表面结合牢固，呈金黄色，硬度可高达 2200HV，有较高的热稳定性，与钢的摩擦系数较低。

涂层高速钢刀具相对普通高速钢在切削力、切削温度约下降 25%，切削速度、进给量、刀具寿命显著提高，即使刀具重磨后其性能仍优于普通高速钢。适合在钻头、丝锥、成形铣刀、切齿刀具广泛应用。

除 TiN 涂层外，新的涂层工艺镀膜功能较多，典型的有：TiN、TiC、TiCN、TiAlN、AlTiN、TiAlCN、DLC（diamond－like Coating 金刚石类涂层）、CBC（carbon－based coating 硬质合金基类涂层）。它们的特点是：

1）TiAlN 高性能涂层：紫罗兰－黑色，耐热温度达 800℃，可适用高速加

工。在基体为65HRC的高速钢上涂2.5～3.5μm，刀具寿命比TiN涂层刀具明显提高1～2倍，但涂层费用较高。

2）AlTiN高铝涂层：黑色，耐热温度达800℃，有高硬度、高耐热性，适合对硬材料加工。

3）TiCN复合涂层：蓝－灰色，耐热温度达400℃，有高韧性，可用于丝锥、成形刀具。

4）TiAlCN复合涂层：紫色，耐热温度达500℃，有高韧性、高硬度、高耐热性、低摩擦性能，适合制造铣刀、钻头、丝锥，可加工60HRC的高硬度材料。

5）DLC涂层：黑灰色，耐热温度400℃，适用于加工硬木材、有色金属、石墨、塑胶的成形刀具。

3.2.5　高速钢刀具的选用

高速钢刀具在强度、韧性及工艺性等方面具有优良的综合性能，而且制造工艺较简单，成本低，易于磨出锋利的切削刃，对机床专用性要求不高，因此，在复杂刀具、成形刀具，尤其是孔加工刀具、铣刀、螺纹刀具、拉刀、齿轮刀具等一些刃形复杂刀具制造中，高速钢仍占据重要地位。高速钢刀具材料的发展主要表现在两个方面：一是高性能高速钢的应用面扩大，从制造复杂刀具扩大到钻头、丝锥、立铣刀等通用刀具；二是粉末冶金高速钢性能进一步提高，性价比提高，使用量也增加，从而使高速钢刀具在应用领域的切削效率也相应提高。目前，新型高性能高速钢制成的各种成形拉刀、高速滚刀、剃齿刀、丝锥、立铣刀及滚压刀具已大量应用于轿车、摩托车、航空发动机、汽轮机等制造行业，用于各种高强度钢和铸铁、合金结构钢、耐热合金钢、不锈钢、整体铝合金等材料的加工。

高速钢的牌号很多，且各自具有特点及其应用范围。用它作为刀具材料，应根据加工材料的性能、制造刀具的类型、加工方式和工艺系统刚性等条件合理选择。其选用原则如下：

1）普通高速钢价格较低，主要用于加工普通钢、合金钢和铸件。高性能高速钢主要用于加工不锈钢、高强度钢、耐热钢等难加工材料。

2）通用刀具与复杂刀具相比其制造工艺简单，制造精度也较低。考虑到刀具成本中材料消耗费用所占比例较大，所以常用普通高速钢制造。数控机床和自动线上所使用的刀具，要求稳定可靠地切削，以及拉刀、齿轮刀具等复杂刀具的制造精度和技术要求较高，在刀具成本中加工费用所占比例较大，故应用高硬度、高耐磨的高性能高速钢和粉末冶金高速钢制造。

3）含钴的高性能高速钢有较高的高温硬度，在切削条件平稳的情况下，刀具寿命可显著提高，这类高速钢的韧性较差，因此，它不适于断续切削或在工艺系统刚性不足的条件下使用，否则容易打刀或崩刃。

4）高钒高速钢，因其磨削性能较差，切削刃容易烧伤退火，故不宜用于制造小模数插齿刀、螺纹刀具等复杂刀具。

表 3-2 是常用高速钢的牌号、特点及主要用途。

表 3-2　常用高速钢的牌号、特点及主要用途

牌号		特点及主要用途
普通高速钢	W18Cr4V（W18）	综合性能好，通用性强，可用于一般钢和铸铁，可制造各种复杂刀具
	W14Cr4VMn	改善了 W18Cr4V 的热塑性，其余性能与其相当。适合制造热轧刀具
	W9Mo3Cr4V（W9）	耐热性、热塑性、热处理等性能均优于 W18 与 M2。加工一般钢和铸铁，可制造各种刀具
	W6Mo5Cr4V2（M2）	强度高、热塑性好、韧性高。可制造轧制刀具、要求热塑性好的刀具以及承受较大冲击载荷的刀具
铝高速钢	W10Mo4Cr4V3Al（5F－6）	切削性能相当于 M42，适于制造铣刀、钻头、铰刀、齿轮刀具、拉刀等，用于加工合金钢、不锈钢、高强度钢和高温合金等材料
	W6Mo5Cr4V2Al（501）	
钴高速钢	W12Mo3Cr4V3Co5Si（Co5Si）	用于加工高强度耐热性钢、高温合金、钛合金等难加工材料，M42 磨削加工性好，可用于精密复杂刀具的制作，但不宜在冲击切削条件下工作
	W9Mo3Cr4V3Co10	
	W7Mo4Cr4V2Co5（M41）	
	W2Mo9Cr4VCo8（M42）	
高钒高速钢	W6Mo5Cr4V3（M3）	耐磨性好，适合加工对刀具磨损严重的材料，如纤维、硬橡胶、塑料等，也可用于不锈钢、高强度钢和高温合金等
	W12Cr4V4Mo（EV4）	
高碳高速钢	9W8Cr4V（9W18）	常温和高温硬度较高，适用于制造加工普通钢和铸铁、耐磨性要求高的钻头、铰刀、锪钻、丝锥和铣刀等加工较硬材料的刀具。不宜承受大的冲击
	9W6Mo5Cr4V2（CM2）	
含硅铌铝高速钢	W6Mo5Cr4V5SiNbAl（B201）	B201 强度和韧性较好，适合加工不锈钢、耐热钢和高强度钢
	W18Cr4V4SiNbAl（B212）	B212 的硬度高，可加工高温合金、奥氏体不锈钢和硬度在 40～50HRC 以下的淬火工件
含氮高速钢	W12Mo3Cr4V3N（V3N）	硬度、强度、韧性与 M42 相当，可作为钴高速钢的替代品，用于低速切削难加工材料和低速高精加工

3.3　硬质合金刀具材料的种类、性能和特点

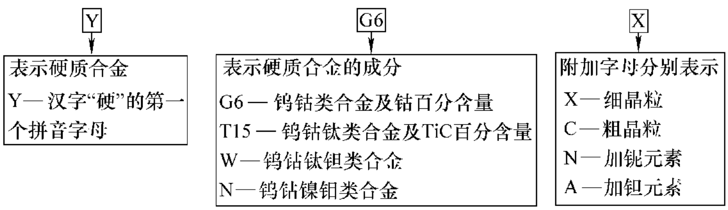
硬质合金刀具（特别是可转位硬质合金刀具）是数控加工刀具的主导产品。目前各工具行业不断扩大各种整体式和可转位式硬质合金刀具或刀片的生产，其品种已经扩展到各种切削刀具领域，其中可转位硬质合金刀具由简单的车刀、面铣刀扩大到各种精密、复杂、成形刀具领域。同时，铰刀、立铣刀、加工硬齿面的大模数齿轮刀具等使用硬质合金材料制造的刀具也日益扩大。

3.3.1　硬质合金的性能及牌号表示方法

硬质合金是由硬度和熔点很高的碳化物（称硬质相）和金属（称粘结相）通过粉末冶金工艺制成的。硬质合金刀具中常用的碳化物有 WC、TiC、TaC、NbC 等。常用的粘结剂是 Co，碳化钛基的粘结剂是 Mo、Ni。

硬质合金的物理力学性能取决于合金的成分、粉末颗粒的粗细及合金的烧结工艺。含高硬度、高熔点的硬质相越多，合金的硬度与高温硬度越高。含黏结剂越多，强度越高。合金中加入 TaC、NbC 有利于细化晶粒，提高合金的耐热性。常温硬度达 89～94HRA，耐热性达 800～1000℃。切削钢时，切削速度可达 220m/min 左右。在合金中加入熔点更高的 TaC、NbC，可使耐热性提高到1000～1100℃，切削钢时，切削速度可进一步提高到 200～300m/min。

硬质合金的牌号表示方法如下：如 YG6X 牌号表示含钴量为 6% 的钨钴类细颗粒硬质合金。



3.3.2　普通硬质合金的种类、牌号及适用范围

按晶粒大小，硬质合金可分为普通硬质合金、细颗粒硬质合金和超细颗粒硬质合金，表 3-3 给出目前国际通行的硬质合金按晶粒度的分类规范。

表 3-3　硬质合金按晶粒度的分类规范

合金类别	纳米	超细	亚微米	细	中	粗	超粗
晶粒度/μm	<0.2	0.2～0.5	0.5～0.8	0.8～1.3	1.3～2.5	2.5～6.0	>6.0

国产普通硬质合金按化学成分不同分为四类：钨钴类、钨钛钴类、钨钛钽（铌）钴类和碳化钛基类硬质合金。前三类主要成分是 WC，后一类主要成分为 TiC。国际标准化组织将切削加工用硬质合金按使用性能分为 P、M、K 三大类。K 类与我国钨钴类硬质合金相当；P 类与我国钨钛钴类硬质合金相当；M 类与我国钨钛钽（铌）钴类硬质合金相当。

1. 钨钴类硬质合金

YG 类硬质合金的主要成分为 WC－Co，用于加工短切屑的黑色金属，如 YG3、YG3X、YG6、YG8 等牌号。该类硬质合金的硬度为 89～91.5HRA，抗弯强度为 1100～1500MPa。YG 类硬质合金是硬质合金中抗弯强度和冲击韧性较好者，特别适合加工切屑呈崩碎状（短切屑）的脆性材料，如铸铁。同时 YG 类合金磨削加工性好，切削刃可以磨得很锋利，也可加工有色金属和纤维层等非金属材料。部分典型 YG 类硬质合金材料的成分和性能见表 3-4。

表 3-4　部分典型 YG 类硬质合金的成分和性能

牌号	成分（质量分数）	硬度（HRA）	强度/MPa	弹性模量/GPa	热导率/W・m^{-1}・K^{-1}	线膨胀系数/10^{-6}℃$^{-1}$	密度/g・cm^{-3}	ISO 分类
YG3	WC+3% Co	91.0	1080	667～677	87.86	—	14.9～15.3	K01
YG3X	WC+3% Co	91.5	1100	—	—	4.1	15.0～15.3	
YG6	WC+6% Co	89.5	1450	630～640	79.6	4.5	14.6～15.0	K10
YG6X	WC+3% Co	91.0	1400	—	79.6	4.4	14.6～15.0	K05
YG8	WC+8% Co	89	1500	600～610	75.4	4.5	14.5～14.9	K20

2. 钨钛钴类硬质合金

YT 类硬质合金的主要成分为 WC－TiC－Co，用于加工长切屑的黑色金属。该类合金中的硬质相除 WC 外，还含有 5%～30%（质量分数）的 TiC。典型牌号有 YT30、YT15、YT14、YT5 等，其 TiC 含量分别为 30%、15%、14%、5%。这类硬质合金的硬度为 89.5～92.5HRA，抗弯强度为 900～1400MPa。因 TiC 的硬度和熔点比 WC 高，故 YT 类硬质合金的硬度、耐磨性和耐热性（900～1000℃）均比 YG 类硬质合金高，但抗弯强度特别是冲击韧度显著降低。例如，YT15 和 YG6 的含 Co 量同为 6%，YT15 的硬度提高了 1.5HRA，但抗弯强度降低了 300MPa。

YT 类硬质合金随着 TiC 含量增加，其导热性、磨削性和焊接性显著降低，在使用时要防止过热而使刀片产生裂纹。另外，YT 类硬质合金在切削钛合金和

含钛的不锈钢时，刀具中的钛元素会与工件里的钛元素有较强的亲和力，而发生刀具严重磨损的粘刀现象，因此，这种情况下要避免采用 YT 类硬质合金。部分典型 YT 类硬质合金的成分和性能见表 3-5。

表 3-5　部分典型 YT 类硬质合金的成分和性能

牌号	成分（质量分数）	硬度（HRA）	强度/MPa	弹性模量/GPa	热导率/W·m⁻¹·K⁻¹	线膨胀系数/10⁻⁶C⁻¹	密度/g·cm⁻³	ISO 分类
YT30	WC + 30% TiC + 4% Co	92.5	900	400 ~ 410	20.9	7.0	9.3 ~ 9.7	P01
YT15	WC + 15% TiC + 6% Co	91.0	1150	520 ~ 530	33.5	6.5	11.0 ~ 11.7	P10
YT14	WC + 14% TiC + 8% Co	90.5	1200	—	33.5	6.2	11.2 ~ 12.0	P20
YT5	WC + 5% TiC + 10% Co	89.5	1400	590 ~ 600	62.8	6.1	12.5 ~ 13.2	P30

3. 钨钛钽（铌）钴类硬质合金

YW 类硬质合金的主要成分为 WC – TiC – TaC（NbC）– Co，用于加工长或短切屑的黑色金属和有色金属。TaC 和 NbC 的加入，阻止 WC 晶粒在烧结过程中长大，细化了晶粒，因此，有效地提高了该类硬质合金的抗弯强度、疲劳强度、冲击韧度、高温硬度、高温强度，提高了抗扩散和抗氧化磨损的能力及耐磨性。YW 类硬质合金兼有 YG、YT 两类合金的性能，综合性能好，有“通用合金钢”的美誉。

该类牌号的硬质合金不但适于冷硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工，也能用于高锰钢、淬火钢、合金钢及耐热合金钢的半精加工和精加工。若在该类硬质合金中，适当提高 Co 含量，可显著增加抗弯强度；同时，提高 TaC 的含量，细化晶粒，可提高抵抗裂纹扩展的能力，从而能承受机械冲击振动和温度周期性变化带来的热冲击，可用于各种难加工材料的粗加工和断续切削。典型 YW 类硬质合金的成分和性能见表 3-6。

表 3-6　典型 YW 类硬质合金的成分和性能

牌号	成分（质量分数）	硬度（HRA）	强度/MPa	密度/g·cm⁻³	ISO 分类
YW1	WC + 6% TiC + 4% Ta（NbC） + 6% Co	91.5	1200	12.8 ~ 13.3	M10
YW2	WC + 6% TiC + 4% Ta（NbC） + 8% Co	90.5	1350	12.6 ~ 13.0	M20

4. TiC 基硬质合金

TiC 基硬质合金又称金属陶瓷，代号为 YN，主要成分为 TiC，加入少量的 WC 和 NbC，以 Ni 和 Mo 为粘结剂，经压制烧结而成，常用牌号有 YN01、YN05、YN10 和 YN15 等，其性能和适用范围见表 3-7。

表 3-7 国产常用 TiC 基硬质合金的性能和适用范围

牌号	成分（质量分数）	硬度（HRA）	抗弯强度/GPa	密度/$g \cdot cm^{-3}$	ISO 分类
YN10	15% WC + 62% TiC + 1% NbC + 10% Mo + 12% Ni	92	1.10	6.3	P05
YN05	78% TiC + 12% Mo + 10% Ni	93	0.90	5.9	P01
YN01	79% TiC + 14% Mo + 7% Ni	93	0.80	5.3 ~ 5.9	P01
YN15	8% WC + 71% TiC + 14% Mo + 7% Ni	95	1.25	7.1 ~ 7.5	P15

3.3.3 超细晶粒硬质合金

超细晶粒硬质合金是由晶粒极小的 WC 颗粒和 Co 粒子构成，是一种高硬度、高强度兼备的硬质合金。普通硬质合金粒度为 3 ~ 5μm，一般细晶粒硬质合金粒度为 1.5μm 左右，亚细晶粒硬质合金粒度为 0.5 ~ 1μm，而超细晶粒硬质合金 WC 粒度在 0.5μm 以下。超细晶粒硬质合金过去多用于 YG 类合金（K 类），近年来 P 类和 M 类合金也向晶粒细化的方向发展，这种硬质合金在细化碳化物颗粒的同时增加粘接相含量，钴的含量达到 9% ~ 15%，使粘接层保持一定厚度，与同样成分的普通硬质合金相比硬度可提高 2HRA 以上，抗弯强度可提高 600 ~ 800MPa，硬度可达 90 ~ 93HRA，抗弯强度可达 2000 ~ 3500MPa 以上，有的可达 5000MPa。由于硬质相和粘接相的高度均匀分散，增加粘接面积，在提高硬质合金的硬度和耐磨性的同时，也提高抗弯强度、抗崩刃性和高温硬度。

超细晶粒硬质合金与普通晶粒硬质合金相比，主要特点如下：

1）超细晶粒硬质合金具有优异的力学性能和良好的切削性能。超细晶粒硬质合金适合制造小规格钻头、立铣刀和丝锥等通用刀具，其切削速度和刀具寿命大大超过高速钢。

2）提高了硬质合金的硬度、耐磨性、红硬性、抗弯强度和冲击韧度。试验指出：当 WC 晶粒的平均尺寸由 5μm 减少到 1μm 时，可使硬质合金的耐磨性提高 10 倍。因此，它适于加工铁基、镍基、钴基高温合金、钛基合金和耐热不锈钢以及各种喷涂焊、堆焊材料等高难加工材料。超细晶粒硬质合金有很高的切削刃强度，允许用低速切削（0.03 ~ 1.0m/s）、断续切削而不崩刃。

3）由于超细晶粒硬质合金晶粒细化，提高了刀具压制时的致密性和流动性，可以磨出非常锋利的刀刃（经仔细刃磨的切削刃钝圆半径为粗晶粒的 2/5 ~ 1/2）、刀尖圆弧半径和更精密的刀具表面形状，当刀具采用较大的前角时，适用于小进给量和小背吃刀量的精细切削。

国内部分细晶粒硬质合金的牌号和性能见表 3-8。

表 3-8　国内部分细晶粒硬质合金的牌号和性能

牌号	成分	颗粒尺寸/μm	抗弯强度/MPa	硬度（HRA）
YD05	$WC + Ti + Co + TaC + Cr_3C_2$	<0.5	2000	94～94.5
YS2	$WC + Co + Cr_3C_2$	<0.5	2500	91.5
YM051	WC + TiC + Co + TaC	0.4～0.5	1950	92.5
YG643	$WC + TiC + Co + TaC + Cr_3C$	<1	2900	92.5
GU25UF	WC－2MC－12Co	0.4～0.5	4000	93.0
GU15UF	WC－1.5MC－8Co	0.4～0.5	3500	93.2
ZUM103	WC－x MC－13Co	≤0.6	>3700	≥92.0
YF06	WC－0.5MC－6Co	0.4～0.6	≥3800	≥93.0
YU08	WC－1MC－8Co	0.2～0.4	4000	≥93.5

3.3.4　涂层硬质合金

涂层硬质合金早在 20 世纪 60 年代已出现。采用化学气相沉积（CVD）工艺，在硬质合金表面涂覆一层或多层（5～13μm）难熔金属碳化物。涂层合金有较好的综合性能，基体强度韧性较好，表面耐磨、耐高温。但涂层硬质合金刃口锋利程度与抗崩刃性不及普通硬质合金。

目前硬质合金涂层刀片广泛用于普通钢材的精加工、半精加工及粗加工。涂层材料主要：TiC、TiN、TiCN、Al_2O_3 及其复合材料。

TiC 涂层具有很高的硬度与耐磨性，抗氧化性也好，切削时能产生氧化钛薄膜，降低摩擦系数，减少刀具磨损。一般切削速度可提高 40% 左右。TiC 与钢的粘结温度高，表面晶粒较细，切削时很少产生积屑瘤，适合于精车。TiC 涂层的缺点是线膨胀系数与基体差别较大，与基体间形成脆弱的脱碳层，降低了刀具抗弯强度。因此，在重切削、加工硬材料或带夹杂物的工件时，涂层易崩裂。

TiN 涂层在高温时能形成氧化膜，与铁基材料摩擦系数较小，抗粘结性能好，能有效地降低切削温度。TiN 涂层刀片抗月牙洼及后刀面磨损能力比 TiC 涂层刀片强。适合切削钢与易粘刀的材料，加工表面粗糙度较小，刀具寿命较高。此外 TiN 涂层抗热振性能也较好。缺点是与基体结合强度不及 TiC 涂层，而且涂层厚时易剥落。

TiC－TiN 复合涂层：第一层涂 TiC，与基体粘结牢固不易脱落，第二层涂 TiN，减少表面层与工件的摩擦。TiC－Al_2O_3 复合涂层：第一层涂 TiC，与基体

粘结牢固不易脱落，第二层涂 Al_2O_3，使表面层具有良好的化学稳定性与抗氧化性能。这种复合涂层能像陶瓷刀一样高速切削，寿命比 TiC、TiN 涂层刀片高，同时又能避免陶瓷刀的脆性、易崩刃的缺点。

目前单涂层刀片已很少应用，大多采用 TiC－TiN 复合涂层或 TiC－Al_2O_3－TiN 三复合涂层。涂层硬质合金是一种复合材料，基体是强度、韧性较好的合金，而表层是高硬度、高耐磨、耐高温、低摩擦的材料。这种新型材料有效地提高了合金的综合性能，因此发展很快。广泛适用于较高精度的可转位刀片、车刀、铣刀、钻头、铰刀等。

3.4　新型刀具材料的种类、性能和特点

3.4.1　陶瓷刀具材料

陶瓷刀具材料的主要成分是硬度和熔点很高的 Al_2O_3、Si_3N_4 等氧化物、氮化物，再加入少量的碳化物或金属等添加剂，经制粉、压制、烧结而成。

国家标准 GB/T 2075—1998 对于陶瓷材料分类代号规定见表 3-9。示例：CA－K05H表示加工带短切屑的硬金属材料的未涂层氧化物陶瓷。

表 3-9　陶瓷材料分类代号

字母代号	陶瓷类别
CA（白陶瓷）	主要含氧化铝（Al_2O_3）的氧化物陶瓷
CM（黑陶瓷）	以氧化铝（Al_2O_3）为基体，但含有非氧化物成分的混合陶瓷
CN（非氧化物陶瓷）	主要含氮化硅（Si_3N_4）的氮化物陶瓷
CC	上述三类的涂层陶瓷

1. 氧化铝基陶瓷

（1）纯氧化铝陶瓷　其中 Al_2O_3 的成分在99.9%以上，多呈白色，俗称白陶瓷。我国成都工具研究所生产的 P1 牌号属于这一类。它的耐磨性好，用于切削灰铸铁有较好效果，也可切削普通碳钢。但因其强度低，抗热振性及断裂韧性较差，切削时易崩刃，故目前已被其他 Al_2O_3 复合陶瓷取代。

（2）氧化铝－碳化物系复合陶瓷　它是在 Al_2O_3 基体中加入 TiC、WC、Mo_2C、TaC、NbC、Cr_3C_2 等成分经热压烧结而成，但使用最多的是 Al_2O_3－TiC 复合陶瓷。随着 TiC 含量（30%～50%）的不同，其切削性能也有差异。这类陶瓷主要用于切削淬硬钢和各种耐磨铸铁。我国生产的牌号有 M16、SG3、SG4 和 AG2 等，后两种牌号中还含有 WC 的成分。

（3）氧化铝－碳化钛－金属系复合陶瓷　它是在 Al_2O_3－TiC 陶瓷中加入少量的粘结金属，如 Ni 和 Mo 等，可提高 Al_2O_3 与 TiC 的连结强度，及其使用性能，故可用于粗加工。这类陶瓷又称金属陶瓷。我国生产的牌号有 AT6、LT35、LT55、M4、M5、M6、LD－1 等。用于切削调质合金钢时的切削速度可达一般硬质合金刀具的13倍，刀具寿命为硬质合金刀具的600倍。由于含有金属成分，所以能用电加工切割成任意形状。同时，用金刚石砂轮刃磨时，能获得较好的表面质量。

（4）Al_2O_3－SiC 晶须增韧陶瓷　它是在 Al_2O_3 陶瓷基体中添加20%～30%的 SiC 晶须（是一种直径小于0.6μm，长度为1080μm 的单晶，具有一定的纤维结构，其抗拉强度为7GPa，抗拉弹性模量超700GPa）而成。SiC 晶须的作用犹如在钢筋混凝土中的钢筋，它能成为阻挡或改变裂纹发展方向的障碍物，使材料韧性大幅度提高，断裂韧度可达 $9MPa \cdot m^{1/2}$，可有效地用于断续切削及粗车、铣削和钻孔等工序中，适于加工镍基合金、高硬度铸铁和淬硬钢等材料。我国生产的 JX－1、AW9、SG5 及美国 WG300、Kyon250 与瑞典 Sandvik 公司 CC670 等牌号均属于这一类。

（5）Al_2O_3/（W，Ti）C 梯度功能陶瓷　它是通过控制陶瓷材料的组成分布以形成合理的梯度，从而使刀具内部产生有利的残余应力分布来抵消切削中的外载应力。具有表层热导率高、有利于切削热的传出，热膨胀系数小，结构完整性好，不易破损等特点。如山东工业大学开发的 FG2 刀片就属这一类。用其加工钢铁材料时的刀具寿命可比 SG4（Al_2O_3－TiC 复合陶瓷）高11倍，并且刀具有很好的自砺性，崩刃后仍能进行正常切削。

2. Si_3N_4基陶瓷

Si_3N_4 陶瓷是一种非氧化物工程陶瓷，其硬度可达1800～2000HV，热硬性好，能承受1300～1400℃的高温，与碳和金属元素化学反应较小，摩擦系数也较低。这类刀具适于切削铸铁、高温合金和镍基合金等材料，尤其适用于大进给量或断续切削。由于纯 Si_3N_4 陶瓷刀具在切削长切屑金属（如软钢）时，极易产生月牙洼磨损，所以新一代 Si_3N_4 陶瓷均为复合 Si_3N_4 陶瓷刀具。新开发的 Si_3N_4 陶瓷不仅可用于粗加工，而且可用于断续切削和有冷却液的切削，例如日本京陶公司的 KS6000 牌号。目前 Si_3N_4 基陶瓷刀具的崩刃率为2%～3%，与硬质合金相当，因此已可在生产线上应用。Si_3N_4 基陶瓷刀具的缺点是磨加工性比普通陶瓷差。

（1）Si_3N_4－TiC－Co 复合陶瓷　其韧性和抗弯强度高于 Al_2O_3 基陶瓷，而硬度却不降低，热导率也高于 Al_2O_3 基陶瓷，故在生产中应用比较广泛。我国生产

的牌号有 FD02、SM、HDM1、N5 等。

（2）Si_3N_4晶须增韧陶瓷　它是在 Si_3N_4基体中加入一定量的碳化物晶须而成，从而可提高陶瓷刀具的断裂韧性。如北京方大高技术陶瓷有限公司生产的 FD03 刀片及湖南长沙工程陶瓷公司生产的 SW21 牌号均属这一类。FD03 刀片是在 Si_3N_4陶瓷基体中加入了硬质弥散颗粒 TiC，SW21 刀片是在 Si_3N_4中加入了一定量的 SiC 晶须，故有较好的使用性能。国外一些切削专家认为，用 Si_3N_4基陶瓷切削钢材效果不如 Al_2O_3基复合陶瓷，故不推荐用其加工钢材。但用 FD02、FD03 和 SW21 切削淬硬钢（60～68HRC）、高锰钢、高铬钢和轴承钢时有较好的效果。

（3）$Si_3N_4-Al_2O_3-Y_2O_3$复合陶瓷　它是以 Si_3N_4为硬质相，Al_2O_3为耐磨相，并添加少量的助烧结剂 Y_2O_3经热压烧结而成，常称赛隆（Sialon）。如美国生产的 Sialon 牌号 KY3000，其成分为：77% Si_3N_4，13% Al_2O_3，10% Y_2O_3，其硬度达 1800HV，抗弯强度达 1.2GPa。美国 Greeleaf 公司生产的 Grem4B 和瑞典 Sandvik 公司 CC680 刀片，以及我国生产的 TP4、SC3 等均是赛隆陶瓷。KY3000 陶瓷刀片在高速下切削镍基高温合金时，其材料切除率是涂层硬质合金刀具的 7 倍。它除能采用较大的进给量及切削速度高速加工铸铁和高温合金外，并可在面铣刀上采用双正前角（侧前角和背前角均为正值）来加工铸铁。

3. 陶瓷刀具材料的新品种

（1）纳米金属陶瓷刀具　这是合肥工业大学材料学院新近开发出的一种新型氧化铝基陶瓷刀具。它是在传统的 Al_2O_3-TiC 金属陶瓷中加入纳米材料 TiN（氮化钛）和 AlN（氮化铝）改性而成，从而可细化晶粒、优化材料力学性能。使用表明，这是一种高技术含量、高附加值的新型刀具，可部分取代 K20（YG8）、P10（YT15）等硬质合金刀具，刀具寿命可提高 2 倍以上，而生产成本则与 K20（YG8）刀具相当。

（2）涂层氮化硅陶瓷刀具　Si_3N_4 基陶瓷的韧性优于 Al_2O_3 基陶瓷，但其耐磨性稍差。切削铸铁时，Si_3N_4 陶瓷刀具的后刀面磨损大于 Al_2O_3 陶瓷刀具；切削钢料时，Si_3N_4 陶瓷刀具的月牙洼磨损较大。为此，国外在 Si_3N_4 基陶瓷表面上施以 TiN、TiC、Ti（C，N）和 Al_2O_3 等涂层，可单涂层，也可多涂层。经涂层后的氮化硅刀具其磨损量为未涂层的 1/3，在加工普通铸铁的切削速度可达 200～1000m/min，且寿命更长。例如，Sandvik 公司的 GC1690 涂层氮化硅陶瓷刀具在加工高强度灰铸铁时的进给量达 0.4mm/r，切削速度为 500m/min。Seco 日本公司的涂层 Si_3N_4 陶瓷刀具，切削钢材时抗月牙洼磨损的能力强，其切削速度可达 Al_2O_3 基陶瓷刀具的切削速度，但进给量却大于后者而接近涂层硬质合金

刀具，可使材料切除率大大提高。

（3）TiB_2 基陶瓷刀具　这是美国佐治亚州理工学院利用自扩散高温合成工艺（Self－propagating High－temperature Synthesis－process，SHS）研制出的一种新型陶瓷刀具，其商品名为 Advanced TiB_2。它的硬度是氮化硅的 2 倍，密度是硬质合金的 1/3，而显微硬度则比硬质合金高（900～1000）HV，其切削性能介于硬质合金和超硬材料 CBN 之间，用其铣削和车削黑色和有色金属、硬度大于 52HRC 的淬硬钢和高温合金等材料时，刀具寿命可比现有的硬质合金刀具长 56 倍。

此外，近几年来 ZrO_2 基陶瓷刀具的性能提高也取得了重要进展。ZrO_2 基陶瓷适于加工各种铝合金，包括硅含量高的硅铝合金。所以有人认为，TiB_2 基陶瓷、ZrO_2 基陶瓷与现在已在使用的 Si_3N_4 基陶瓷一样，有可能成为未来使用的主要刀具陶瓷材料。

4. 陶瓷刀具材料的正确选用

要根据被加工材料性质及加工特点正确选择陶瓷刀具材料的种类和牌号。不同种类的陶瓷刀具材料有着不同的应用范围。氧化铝（Al_2O_3）基陶瓷适于加工各种钢材（碳素结构钢、合金结构钢、高强度钢、高锰钢、淬硬钢等）和各种铸铁，也可加工铜合金、石墨、工程塑料和复合材料，但它不宜用来加工铝合金和钛合金，否则容易产生化学磨损。Si_3N_4 基陶瓷加工范围与氧化铝基陶瓷类似，它最适于高速加工铸铁和高温合金，一般不宜用来加工产生长切屑的钢料（如正火和热轧状态）。赛隆（Sialon）陶瓷最适于加工各种铸铁（灰铸铁、球墨铸铁、冷硬铸铁、高合金耐磨铸铁等）和镍基高温合金，不宜用来加工钢料。

目前，陶瓷刀具主要应用于车削、镗削和端铣等精加工和半精加工工序，最适于加工淬硬钢、高锰钢、高强度钢和高硬度铸铁，切削效果比硬质合金有显著提高，加工一般硬度的钢材与铸件，效果没有上述显著。

3.4.2　金刚石刀具材料

金刚石是碳的同素异形体，是目前已知的最硬物质，其显微硬度可达 10000HV，同时也是目前硬度最高的刀具材料。在合适的加工条件下，金刚石刀具相比高速钢、硬质合金、陶瓷和聚晶立方氮化硼刀具的使用寿命更长。用它加工铜、铝等有色金属和非金属耐磨材料时的切削速度比硬质合金刀具高出一个数量级（例如铣削铝合金的切削速度为 3000～4000m/min，高的甚至可达 7500m/min），使用寿命是硬质合金刀具的几十甚至几百倍。金刚石刀具过去

主要用于精加工，近十几年来通过改进生产工艺，控制原料纯度和晶粒尺寸，采用复合材料和热压工艺等，其脆性有了重大改进，韧性提高，使用可靠性显著改善，已经可以作为常规刀具在生产中应用，对提高工效、保证产品质量起着重要作用。

1. 金刚石刀具材料性能特点

金刚石刀具的硬度和耐磨性极高、切削刃非常锋利、刃部粗糙度值小、摩擦因数低、抗粘结性好、热导率高、切削时不易粘刀及产生积屑瘤、加工表面质量好。在加工有色金属时，表面粗糙度值可达 $Ra0.05 \sim 0.10\mu m$，加工精度可达 IT5（孔 IT6）级以上，能有效地加工非铁金属材料和非金属材料，如铜、铝等有色金属及其合金、陶瓷、未烧结的硬质合金、各种纤维和颗粒加强的复合材料、塑料、橡胶、石墨、玻璃和各种耐磨木材（尤其是实心木和胶合板、MDF 等复合材料）。

金刚石刀具的缺点是韧性差，热稳定性低，与铁族元素接触时有化学反应（$4C+3Fe \rightarrow Fe_3C_4$），在 700～800℃时将碳化（即石墨化），一般不适用于加工钢铁材料。用它切削镍基合金时，同样也会迅速磨损。所以通常不推荐金刚石刀具加工高熔点金属及合金。此外，金刚石刀具刃磨困难，价格昂贵。

2. 金刚石刀具材料的品种分类

金刚石按其形成方式，分为天然和人造金刚石两种。天然金刚石一般为单晶晶体，人造金刚石按其使用要求可制成单晶晶体和多晶晶体，其中应用多晶制成的金刚石刀具有聚晶金刚石（PCD）刀具和化学气相沉积（CVD）金刚石刀具。金刚石刀具的种类如图 3-1 所示。

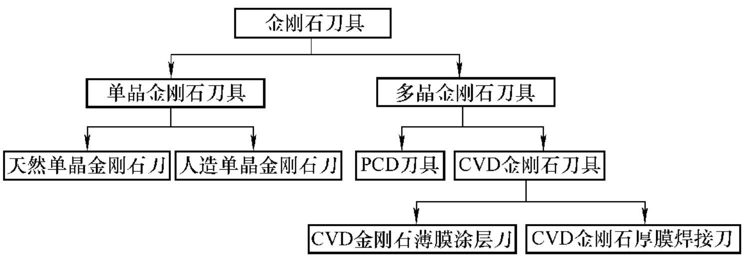


图 3-1 金刚石刀具的种类

3. 金刚石刀具的牌号及应用

目前，金刚石刀具已经广泛应用于汽车、摩托车、航空航天工业、国防工业中一些难加工的有色金属及其合金零部件的高速精密加工。同时也用于加工耐磨

有色金属及其合金和非金属材料，与硬质合金刀具相比，能在很长的切削过程中保持锋利刃口和切削效率，使用寿命远远高于硬质合金刀具。表 3-10 ~ 表 3-14 是国内外部分公司的金刚石刀具的牌号及应用范围。

表 3-10　部分国产金刚石复合刀具的牌号、性能及应用

牌号	厂家	硬度（HV）	抗弯强度/MPa	热稳定性	应用
FJ	成都工具研究所	>6000	>1500	>700℃	各种耐磨非金属材料，如玻璃、粉末冶金、陶瓷；各种耐磨有色金属，如铝、铜、铜合金等
JRS－F	第六砂轮厂	7200	>1500	950℃开始氧化	
YCD011	株洲钻石切削刀具股份有限公司				该牌号主要用于有色金属和非金属材料的加工

表 3-11　伊斯卡（IR）公司金刚石刀具的牌号及应用

牌号	ISO 分类	加工对象	应用
ID4	—	优质铝合金、木材、FRP	普通车削加工
ID5	K01 ~ K10	铝合金（Si<12%）	高速半精加工到精加工，切槽和车削
ID6	K01 ~ K10	铝合金（Si>12%）	高速半精加工到精加工，车削工序

表 3-12　山特维克可乐满（Sandvik Coromant）公司金刚石刀具的牌号及应用

类别	牌号	ISO 分类	应　　用
聚晶金刚石（PCD）	CD03	—	细晶粒聚晶金刚石，推荐用于需要锋利切削刃的铝铣削
	CD10	N05	由平均直径为 7μm 的细或中细粒度的晶粒构成，推荐使用于有色金属和非金属材料的半精加工
	CD30	—	粗晶粒聚晶金刚石，推荐用于高磨损性材料的加工
CVD 金刚石	CD1810	N10	是基于经过特殊处理的基体的 CVD 金刚石涂层刀片，6 ~ 8μm 厚的高纯度金刚石涂层提供了优良的切削有色金属合金所需的性质

表 3-13　戴杰（Di jet）工业株式会社金刚石刀具的牌号及应用

牌号	金刚石晶粒平均粒度/μm	硬度/GPa	特长	加工对象
JDA10	0.5 ~ 2	60 ~ 70	超微粒聚晶金刚石，韧性、加工能力强，被磨削性能好	铝合金的精加工

（续）

牌号	金刚石晶粒平均粒度/μm	硬度/GPa	特长	加工对象
JDA715	3 ~ 5	60 ~ 70	超微粒聚晶金刚石，韧性、加工性能、被磨削性能好，采用特殊结合剂，抗冲击性极强	碳、GFRP、电子部件等非金属（塑料）、有色金属的加工
JDA735	20 ~ 30	70 ~ 80	粗粒度聚晶金刚石，金刚石含量高，具有优良的耐磨性	硬质合金及高硅铝合金加工
JDA745	7 ~ 10	65 ~ 75	细粒度聚晶金刚石，耐磨性、加工性能均衡性好，采用特殊结合剂，抗冲击性极强	铝合金、铜合金、非金属（塑料）、有色金属的加工

表 3-14　三菱（Mitsubishi）公司金刚石刀具的应用范围

牌号	材料特点	加工材料第一推荐	加工材料第二推荐
MD205	使用 MD220 耐磨性不足时	硬质合金、Al 合金（Si > 16%）	碳棒
MD220	非铁金属的精加工，非金属的切削加工	铝合金、Al 合金（Si < 16%）、铜合金、强化塑料、玻璃纤维材料、炭棒、硬质橡胶、无机质板材	Al 合金（Si > 16%）、陶瓷、硬质合金
MD230	当 MD220 发生缺损或表面要求高的精加工时用		

3.4.3　立方氮化硼刀具材料

立方氮化硼材料是 1957 年由美国通用电器公司首次人工合成的新型无机材料，是继人造金刚石问世之后人工合成的硬度仅次于金刚石的超硬材料。它具有高的硬度、热稳定性，对铁系金属元素有较大的化学惰性，抗粘结能力强，十分有利于加工黑色金属，也可加工脆硬钢、冷硬铸铁等各种难加工材料，其硬切削能力优于陶瓷材料；而且还能对高温合金、热喷涂材料、硬质合金及其他难加工材料进行高速切削和高速干切削；另外，在加工镍基合金时，立方氮化硼刀具比硬质合金刀具寿命长百倍以上。

1. 立方氮化硼分类

立方氮化硼（CBN）有单晶体（CBN 单晶）和聚晶体（Polycrystalline Cubic Born Nitride，PCBN）之分。PCBN 是在高温高压下将微细的 CBN 单晶，通过结

合相（TiC、TiN、Al、Ti 等）烧结在一起的多晶材料。PCBN 克服了 CBN 单晶易解理和各向异性等缺点，因此，PCBN 主要用于制作刀具或其他工具。

PCBN 根据制造合成工艺的不同，聚晶立方氮化硼可以分为整体 PCBN 烧结块和带硬质合金基体的 PCBN 复合片。整体 PCBN 烧结块是由无数细小的 CBN 颗粒在高温高压下烧结而成，PCBN 复合片是由 CBN 层与硬质合金基体在高温高压下烧结而成。目前应用比较广泛的是带粘结剂的聚晶立方氮化硼复合片。虽然整体 PCBN 烧结块克服了立方氮化硼单晶颗粒小及各向异性的缺点，但它作为刀具在连接和焊接时存在一定问题，因为整体 PCBN 烧结体不易被通常的焊料所浸润粘接，难以直接进行焊接。聚晶立方氮化硼复合片则在焊接方面具有优势。

2. PCBN 刀具牌号及选用

由于 PCBN 材料具有独特的结构和特性，近年来广泛应用于黑色金属的切削加工，尤其适合于淬硬钢、高硬铸铁、高硬热喷涂合金等难加工材料的切削加工。目前已有多个品种不同 CBN 含量、结合剂和粒度的 PCBN 刀具用于车刀、镗刀、铣刀等。在汽车制造业、自动化生产线等方面 PCBN 刀具的使用量已达到了相当的比例。表 3-15 ~ 表 3-19 是国内外 PCBN 刀具的牌号、性能及应用范围。

表 3-15　国产主要 PCBN 刀具的牌号、性能参数及应用范围

牌号	厂家	硬度（HV）	抗弯强度/MPa	热稳定性/℃	应用范围
FD	成都工具研究所	>4000	1570	>1000	各种淬火钢的粗、精加工；各种高硬铸铁、喷涂、喷焊、W/(Co) >10% 硬质合金的加工
FD - J - CFⅡ		7000 ~ 8000	450 ~ 507	1000 ~ 1200	精车、半精车淬火钢、热喷涂零件、耐磨铸铁、部分高温合金的加工
LDP - J - XF		7000 ~ 8000	450 ~ 507	1000 ~ 1200	适用于异形和多刃刀具
DLS - F	第六砂轮厂	5800	333 ~ 568	1057 ~ 1121	适用于淬硬工具钢、高速钢、高温合金、钛合金等材料加工

表 3-16　株洲钻石切削刀具股份有限公司 PCBN 刀具的牌号及应用

牌号	特性及应用
YCB012	中等晶粒尺寸、较高 PCBN 含量（80%）的超硬刀片。具有极高的耐磨性。常用于珠光体铸铁、灰口铸铁和冷硬铸铁的粗、精加工及硬化钢的半精加工
YCB011	细晶粒尺寸、较低 PCBN 含量（50%）的超硬刀片。细晶结构使刀片的刃口质量优良。最适合硬化钢的精加工。具有低的热导率，保持切削区的温度，适合于珠光体铸铁和冷硬铸铁的粗、精加工

表 3-17　依斯卡（ISCAR）公司立方氮化硼刀具牌号及应用

牌号	ISO 分类	加工对象	应用
IB50	P01 ~ P10	硬度 > 50HRC 的高强度钢	高速精加工
IB65	—	灰铸铁、球墨铸铁、硬度 > 50HRC 的高强度钢	半精加工，切槽和车削
IB80	K01 ~ K15	灰铸铁、球墨铸铁、硬度 > 50 HRC 的高强度钢	高速粗、半精加工，高强度钢的断续切削，车削工序
IB90	K01 ~ K10	灰铸铁、球墨铸铁、硬度 > 50HRC 的高强度钢、冷硬铸铁、HSS 轧辊	高速粗、半精加工，高强度钢的断续切削，车削工序

表 3-18　山特维克可乐满（Sandvik Coromant）公司 PCBN 刀具牌号及应用

牌号	ISO 分类	特性及应用
CB20	H01	在立方氮化硼中添加了 TiN。将 CBN 焊接在硬质合金刀尖上。用于淬硬钢和淬硬铸铁的精加工工序，化学稳定性和耐磨性高
CB50	K05 H05	纯立方氮化硼。具有很高的耐粘结磨损性和韧性。应用时将 CBN 焊接在硬质合金刀尖上，主要应用于恶劣条件的铸铁和淬硬材料的车削加工，也可用于工况稳定下淬硬钢的铣削
CB7020	H01	该牌号是立方氮化硼添加了 TiN 的 CBN 牌号，为了获得特别牢固的连接和高安全性，CBN 材料是烧结而不是焊接到每个硬质合金载体的刀尖上。该刀片带检测磨损用的 PVD 和 TiN 涂层，是用于淬硬钢和淬硬铸铁的精加工工序使用的高化学稳定性和高耐磨性的牌号
CB7050	K05 H05	该牌号是纯立方氮化硼牌号，具有很高的耐粘结磨损性和韧性。为了获得特别牢固的连接和高安全性，CBN 材料是烧结而不是焊接到每个硬质合金载体的刀尖上。该刀片带检测磨损用的 PVD TiN 涂层，主要推荐应用为恶劣条件的铸铁和淬硬材料的加工

表 3-19　三菱（Mitsubishi）公司立方氮化硼的牌号及应用范围

牌号	主要成分	材料的特点和用途
MB8025	CBN（微粒）、TiN、Al_2O_3	采用粉末活性烧结法的新通用材料，为中速连续切削到高速断续切削的第一推荐牌号
MB810	CBN、TiN、Al_2O_3	CBN 粒子大，耐磨性提高，特别对高速连续切削性能尤佳
MB820	CBN、TiN、Al_2O_3	牌号具有高的热导率，达到优异的前刀面耐磨性。适合于连续切削到弱断续切削加工用材料

3.5　数控刀具材料的选择

前面介绍了数控刀具常用材料的性能、特点和适用范围，如何正确选择刀具材料、牌号，需要全面掌握金属切削的基本知识和规律，其中最主要的是了解刀具材料的切削性能和工件材料的切削加工性能及加工条件，紧紧抓住切削中的主要矛盾，同时兼顾经济合理来决定取舍。

实际应用时刀具材料选用应与加工对象合理匹配。切削刀具材料与加工对象的匹配主要指二者的力学性能、物理性能和化学性能相匹配，已获得最长的刀具寿命和切削加工生产率。

1. 切削刀具材料与加工对象的力学性能匹配

切削刀具材料与加工对象的力学性能匹配主要是指刀具与工件材料的强度、韧性和硬度等力学性能参数要相匹配。具有不同力学性能的刀具材料所适合加工的工件材料有所不同。

1）刀具材料硬度顺序为：金刚石刀具 > 立方氮化硼刀具 > 陶瓷刀具 > 硬质合金 > 高速钢。

2）刀具材料的抗弯强度顺序为：高速钢 > 硬质合金 > 陶瓷刀具 > 立方氮化硼刀具 > 金刚石刀具。

3）刀具材料的韧度大小顺序为：高速钢 > 硬质合金 > 立方氮化硼刀具、金刚石刀具、陶瓷刀具。

高硬度的工件材料，必须用高硬度的刀具来加工，刀具材料的硬度必须高于工件材料硬度，一般要求在 60HRC 以上。刀具材料硬度越高，其耐磨性就越好。如，硬质合金中含钴量增多时，其强度和韧性增加，硬度降低，适合于粗加工；含钴量减少时，其硬度和耐磨性增加，适合于精加工。具有优良高温力学性能的刀具尤其适合于高速切削加工。陶瓷刀具优良的高温性能使其能够以高的速度进行切削，允许的切削速度可比硬质合金提高 2 ~ 10 倍。

2. 切削刀具材料与加工对象的物理性能匹配

具有不同物理性能的刀具，如，高导热和低熔点的高速钢刀具、高熔点和低热胀的陶瓷刀具、高导热和低热胀的金刚石刀具等，所适合加工的工件材料有所不同。加工导热性差的工件时，应采用导热较好的刀具材料，以使切削热得以迅速传出而降低切削温度。金刚石由于导热系数及热扩散率高，切削热容易散出，不会产生很大的热变形，这对尺寸精度要求很高的精密加工刀具来说尤为重要。

1）各种刀具材料的耐热温度：金刚石刀具为 700 ~ 800℃、立方氮化硼刀具为 1300 ~ 1500℃、陶瓷刀具为 1100 ~ 1200℃、TiC（N）基硬质合金为 900 ~ 1100℃、WC 基超细晶粒硬质合金为 800 ~ 900℃、高速钢为 600 ~ 700℃。

2）各种刀具材料热胀系数大小顺序为：高速钢 > WC 基硬质合金 > TiC（N）基硬质合金 > Al_2O_3基陶瓷 > 立方氮化硼 > Si_3N_4基陶瓷 > 聚晶金刚石。

3）各种刀具材料的抗热振性大小顺序为：高速钢 > WC 基硬质合金 > Si_3N_4基陶瓷 > 立方氮化硼 > 聚晶金刚石 > TiC（N）基硬质合金 > Al_2O_3基陶瓷。

3. 切削刀具材料与加工对象的化学性能匹配

切削刀具材料与加工对象的化学性能匹配问题主要是指刀具材料与工件材料化学亲和性、化学反应、扩散和溶解等化学性能参数要匹配。材料不同的刀具所适合加工的工件材料有所不同。

1）各种刀具材料抗粘结温度高低为（与钢）：立方氮化硼 > 陶瓷 > 硬质合金 > 高速钢。

2）各种刀具材料抗氧化温度高低为：陶瓷 > 立方碳化硼 > 硬质合金 > 金刚石 > 高速钢。

3）各种刀具材料对钢铁的扩散强度大小为：金刚石 > Si_3N_4基陶瓷 > 立方氮化硼 > Al_2O_3基陶瓷。

4）对钛的扩散强度大小为：Al_2O_3基陶瓷 > 立方氮化硼 > Si_3N_4基陶瓷 > 金刚石。

4. 数控刀具材料的合理选择

一般而言，立方氮化硼、陶瓷刀具、涂层硬质合金及 TiC（N）基硬质合金刀具适合于钢铁等黑色金属的数控加工；而聚晶金刚石刀具（PCD）适合于对 Al、Mg、Cu 等有色金属材料及其合金和非金属材料的加工。表 3-20 列出了上述刀具材料所适合加工的一些工件材料。

表 3-20　刀具材料所适合加工的一些材料

刀具	高硬钢	耐热合金	钛合金	镍基高温合金	铸铁	纯钢	高硅铝合金	FRP 复合材料
PCD	×	×	⊙	×	×	×	⊙	⊙
PCBN	⊙	⊙	○				●	●
陶瓷刀具	⊙	⊙	×	⊙	⊙	●	×	×
涂层硬质合金	○	⊙	⊙	●	⊙	⊙	●	●
TiC（N）基硬质合金	●	×	×	×	⊙	●	×	×

注：符合含义是⊙—优，○—良，●—尚可，×—不合适。

第 4 章　数控车削刀具

4.1　车刀的种类和用途

数控车削是数控加工中应用最多的加工方法之一，而数控车刀是指数控车床上应用的各种刀具的总称，用于加工外圆、内孔、端面、螺纹、切槽等。图 4-1 所示为数控车刀的主要类型和用途。

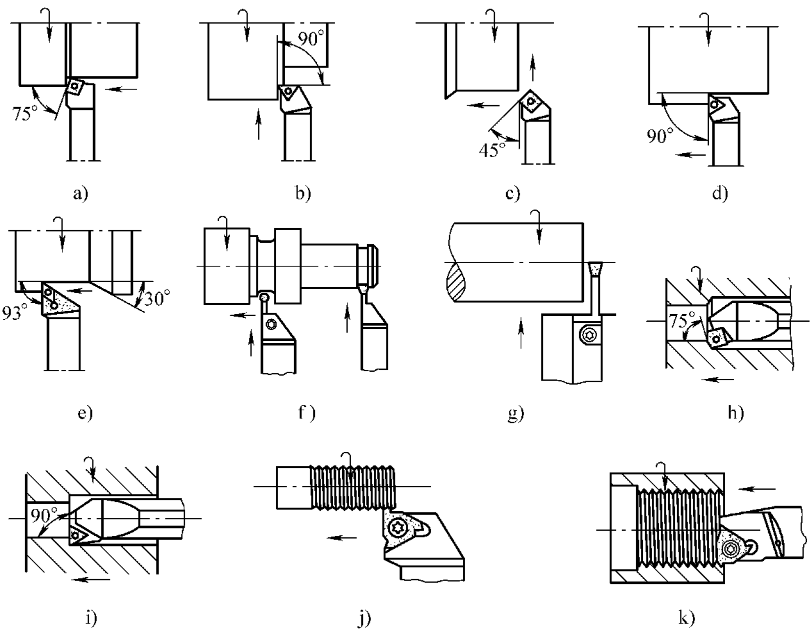


图 4-1　数控车刀类型和用途

a）75°偏头外圆车刀　b）90°偏头端面车刀　c）45°偏头外圆车刀　d）90°偏头外圆车刀
e）93°偏头仿形车刀　f）QC 系列切槽刀、切断刀　g）机夹式切断刀　h）75°内孔车刀
i）90°内孔车刀　j）外螺纹车刀　k）内螺纹车刀

数控车刀的种类较多，分类标准也不一样，按用途可分为外圆车刀、端面车刀、切断刀、螺纹车刀等；按切削部分材料可分为高速钢车刀、硬质合金车刀、陶瓷车刀、金刚石车刀等；按结构可分为整体式、焊接式、机夹重磨式、机夹可

转位式等。下面以结构分类为标准讲述数控车刀特点和应用场合。

1. 整体车刀

整体车刀是由整块高速钢淬火、磨制而成的，俗称“白钢刀”，形状为长条形、截面为正方形或矩形，使用时可根据不同用途将切削部分修磨成所需形状。

2. 焊接式车刀

这种车刀是将一定形状的硬质合金刀片钎焊在刀杆的刀槽内制成的。其结构简单，紧凑、刚性好、抗振性能好，使用灵活，制造刃磨方便，刀具材料利用充分，在一般的中小批量生产和修配生产中应用较多。但这种车刀由于硬质合金刀片与刀杆材料的线膨胀系数和导热性能不同，刀片在刃磨和焊接的高温作用后冷却时，常产生内应力，极易引起裂纹，降低刀片的抗弯强度，致使车刀工作时刀片产生崩刃现象。刀杆随刀片的用尽而报废，不能重复使用，刀片也不能充分回收利用，造成刀具材料的浪费。另外，用在重型车床上的车刀，因其尺寸较大，重量大，焊接时不方便，刃磨也较困难。

焊接式硬质合金刀片的形状和尺寸有统一的标准规格。在设计和制造时，应根据其不同用途，选用合适的硬质合金牌号和刀片的形状规格。车刀刀杆的头部应按选定的刀片形状尺寸做出刀槽，以便放置刀片，进行焊接。在焊接强度和制造工艺允许的情况下，应尽可能选择焊接面少的形状。因为焊接面多，焊接后刀片产生内应力较大，容易产生裂纹。

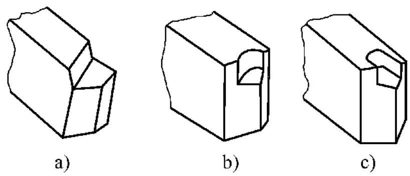


图 4-2　刀槽形式

a）敞开式　b）半封闭式　c）封闭式

焊接式车刀的刀槽有敞开式、半封闭式、封闭式等形式，如图 4-2 所示。敞开式焊接面最少，封闭式最多，内应力也最大。一般刀片底面积较小而又要求焊接牢固的情况下才采用封闭式，如螺纹车刀等。

3. 机夹可重磨式车刀

机夹可重磨式车刀是用机械夹固的方法将刀片固定在刀杆上，由刀片、刀垫、刀杆和夹紧机构等组成。图 4-3 所示为上压式机夹车刀、图 4-4 所示为侧压式机夹车刀。这种车刀是针对于硬质合金焊接车刀的缺陷而出现的。与硬质合金焊接车刀相比，机夹可重磨式车刀有很多优点，如刀片不经高温焊接，排除了产生焊接应力和裂纹的可能性；刀杆可以多次重复使用，使刀杆材料利用率大大提高，刀杆成本下降；刀片用钝后可多次刃磨，不能使用时还可以回收。缺点是在使用过程中仍需刃磨，不能完全避免由于刃磨而引起的热裂纹；其切削性能仍取决于工人刃磨的技术水平；刀杆制造复杂。

4. 机夹可转位车刀

机夹可转位刀具是一种把可转位刀片用机械夹固的方法装夹在特制的刀杆上使用的刀具，如图 4-5 所示。在使用过程中，当切削刃磨钝后，不需刃磨，只需通过刀片的转位，即可用新的切削刃继续切削。只有当可转位刀片上所有的切削刃都磨钝后，才需要换新刀片。机夹可转位车刀（简称可转位车刀）是其中的一类，它除了具有焊接式、机夹重磨式刀具的优点外，还具有切削性能和断屑性能稳定、停车换刀时间短、完全避免了焊接和刃磨引起的热应力和热裂纹、有利于合理使用硬质合金和新型复合材料、有利于刀杆和刀片的专业化生产等优点。因此机夹可转位刀具应用范围不断地扩大，已成为刀具发展的一个重要方向。

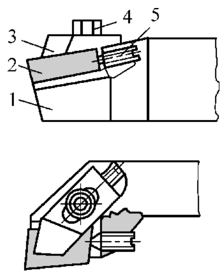


图 4-3　上压式机夹车刀
1—刀杆　2—刀片　3—压板
4—螺钉　5—调整螺钉

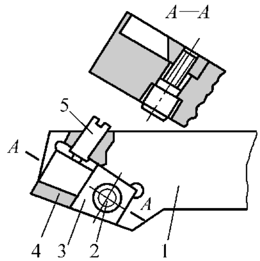


图 4-4　侧压式机夹车刀
1—刀杆　2—压紧螺钉
3—楔块　4—刀片　5—调整螺钉

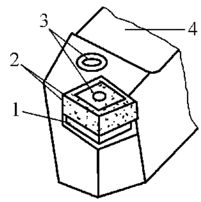


图 4-5　可转位机夹车刀
1—刀垫　2—刀片
3—夹固元件　4—刀杆

4.2　机夹可转位车刀代码

4.2.1　机夹可转位车刀刀片代码

ISO 标准和我国标准规定了可转位刀片型号的含义。我国先后制定了可转位刀片国家标准 GB/T 2076—1987 和 GB/T 2076—2007。与 GB/T 2076—1987 相比，在 GB/T 2076—2007 中主要有如下变动：

——适用范围扩大，原标准只适用于硬质合金和陶瓷可转位刀片，修订后的国家标准不仅适用于硬质合金和陶瓷可转位刀片，还适用于镶用立方氮化硼及聚晶金刚石的刀片。

——增加了镶片式切削刀片的型号表示规则。

——增加了圆形刀片 d 值的允许偏差要求。

——对菱形刀片的 U 级允许偏差不再做规定。

——增加了不等边刀片和圆形刀片的刀片边长的代号规定。

——对圆形刀片的刀尖转角形状或刀尖圆弧半径代号的规定，由原“00”改为“MO”。

——在原国标基础上增加了两种刀片切削刃截面形状的代号规定。

对可转位刀片的型号说明见第 2 章表 2-14 ~ 表 2-22。机夹可转位车刀片命名原则符合国家标准，也用 10 个位数表示刀片具体参数，见表 4-1 示例。在具体使用时各刀具生产厂家对刀片标注位数有稍微的不同，主要是断屑槽等说明，图 4-6 所示为山高刀具、千木刀具刀片代码表示规则。

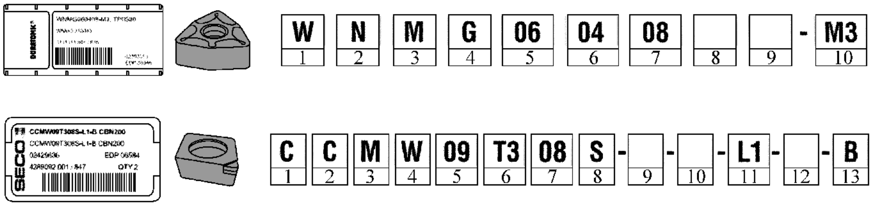
表 4-1　可转位车刀片示例

<table>
<tr><td>代号位数</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr>
<tr><td>代号特征</td><td>刀片形状</td><td>刀片法后角</td><td>刀片精度</td><td>刀片有无断屑槽和固定孔</td><td>刀片长度</td><td>刀片厚度</td><td>刀尖圆弧半径</td><td>切削刃形状</td><td>刀削方向</td><td>断屑槽形式和宽度</td></tr>
<tr><td>表示方法</td><td colspan="4">一个英文字母</td><td colspan="2">两位阿拉伯数字（所表示参数的整数部分，不够两位的前面加 0）</td><td>两位阿拉伯数字（舍去小数点后的参数）</td><td colspan="2">一个英文字母</td><td>一个英文字母和一位阿拉伯数字（宽度的整数部分）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">举例</td><td>T</td><td>A</td><td>M</td><td>N</td><td>15</td><td>06</td><td>12</td><td>F</td><td>R</td><td>A3</td></tr>
<tr><td>三角形</td><td>30°</td><td>中等</td><td>无断屑槽和中心固定孔</td><td>15mm</td><td>6mm</td><td>1. 2mm</td><td>锋刃</td><td>右切</td><td>开口式断屑槽（宽 3mm）</td></tr>
</table>

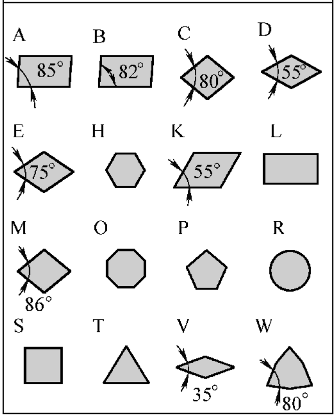
4. 2. 2　机夹可转位外圆和内孔车刀代码

1. 机夹可转位外圆车刀代码

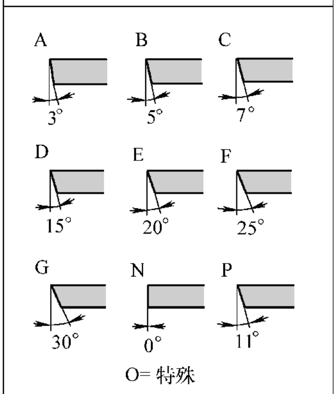
机夹可转位外圆车刀的 ISO 代码如图 4-7 所示，用 10 位编码表示车刀各种形状参数，第 10 位是在制造商根据需要增加的编码，说明刀具特殊用途，一般在刀具使用说明中注明。



1.刀片形状



2.刀片后角



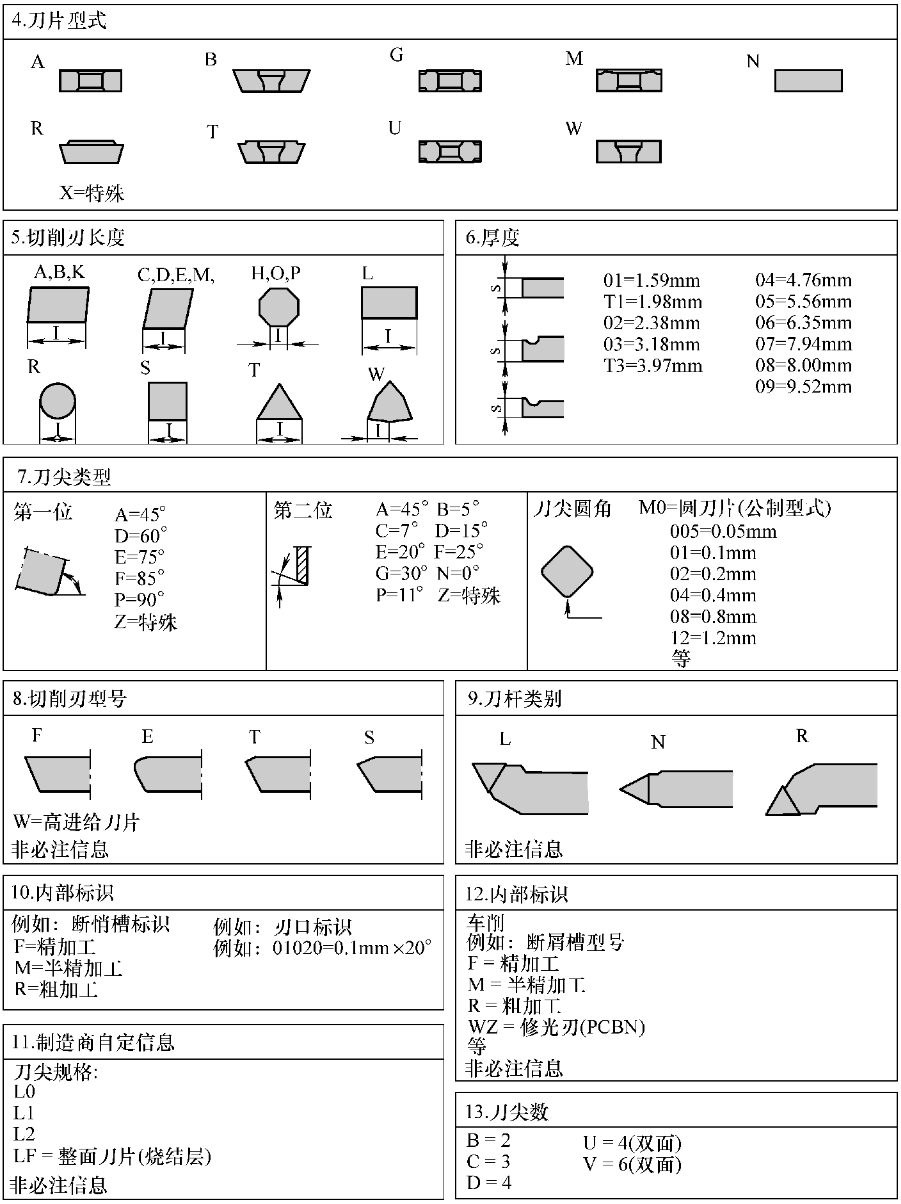
3.公差

公差等级	公差±/mm s	公差±/mm d	适用直径，尺寸/mm 3.175*	3.969	4.064	4.760	6.350	9.525	12.700	15.875	19.050	25.400	31.750	38.100
A	0.025	0.025	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•
C	0.025	0.025	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
E	0.025	0.025	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•
F	0.025	0.013	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•
G	0.130	0.025	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•
H	0.025	0.013	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•
J	0.025	0.050	•			•	•	•						
	0.025	0.080							•					
	0.025	0.100								•	•			
	0.025	0.130										•		
	0.025	0.150											•	•
K	0.025	0.050	•			•	•	•						
	0.025	0.080							•					
	0.025	0.100								•	•			
	0.025	0.130										•		
	0.025	0.150											•	•
M	0.130	0.050	•			•	•	•						
	0.130	0.080							•					
	0.130	0.100								•	•			
	0.130	0.130										•		
	0.130	0.150											•	•
U	0.130	0.080	•			•	•	•						
	0.130	0.130							•					
	0.130	0.180								•	•			
	0.130	0.250										•	•	•

*非ISO标准

a)

图 4-6　刀具车削刀片代码



a) (续)

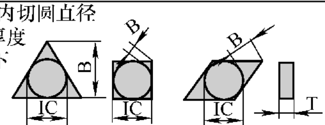
图 4-6　刀具车削刀片代码（续）

a）山高刀具刀片代码

形状代码	刀片	刀齿形状	角度
S		四方形	90
T		三角形	60
C		菱形（宝石形）	60
D			55
E			75
F			50
M			65
V			35
W		凸三边形	80
H		六边形	120
O		八边形	135
P		五边形	108
L		长方形	90
A		平行四边形	85
B			82
N/K			55
R		圆形	–
1 刀片形状			

公差：优先考虑的是刃口有损处理和涂层刀具

IC:刀片内切圆直径
T:刀片厚度
B:见以下参数



公差等级	尺寸“IC”公差		尺寸“B”公差		尺寸“T”公差	
	英寸	mm	英寸	mm	英寸	mm
C	±.0010	±0.025	±.0005	±0.013	±.001	±.0025
H	±.0005	±0.013	±.0005	±0.013	±.001	±.0025
E	±.0010	±0.025	±.0010	±0.025	±.001	±.0025
G	±.0010	±0.025	±.0010	±0.025	±.005	±.0013
M	详见右边表格		详见右边表格		±.005	±.0013
U	详见右边表格		详见右边表格		±.005	±.0013
3公差						

英制	C	N	M	G
公制	C	N	M	G
位置	1	2	3	4

N	0°
A	3°
B	5°
C	7°
P	11°
D	15°
E	20°
F	25°
G	30°
2刀片后角	

4 刀片类型					附加代码	
代号	几	刀孔形状		刀片截面形状	形状代码	“D”小于1/4″
N	无	–	无		N	E
R			单面		R	
F			双面		F	
A	有	直孔	无		A	D
M、R、S			单面		M	
O、P、Z			双面		G	
W		部分直孔、带40°~60°沉头孔	无		A	
T			单面		M	
O		部分直孔、双面40°~60°沉头孔	无		A	
U			双面		G	
B		部分直孔、带70°~90°沉头孔	无		A	
H			单面		M	
C		部分直孔、双面70°~90°沉头孔	无		A	
J			双面		G	
X	非标准				X	X

5尺寸									
英寸	轴		公制切削刃长度						
	英寸	mm	C	D	R	S	T	V	W
1.2(5)	5.02	3.97	04	04	03	03	06	-	-
1.5(6)	3/16	4.75	05	05	04	04	08	08	53
1.8(7)	7/32	5.58	05	06	05	05	09	09	03
-	236	6.00	-	-	05	-	-	-	-
2	1/4	6.38	06	07	05	06	11	11	04
2.5	5/16	7.94	08	09	07	07	13	15	05
-	3/5	8.00	-	-	05	-	-	-	-
3	3/8	9.95	09	11	09	09	18	18	08
-	394	10.00	-	-	10	-	-	-	-
3.5	7/16	11.11	11	12	11	11	19	19	07
-	472	12.00	-	-	12	-	-	-	-
4	1/2	12.70	17	15	17	17	22	22	08
4.5	9/16	14.29	14	17	14	14	24	24	09
5	5/8	15.55	16	19	15	15	27	27	10
-	.630	16.00	-	-	18	-	-	-	-
5.5	11/16	17.46	17	21	17	17	30	30	11
6	3/4	19.05	19	22	19	19	33	33	13
-	.787	20.00	-	-	20	-	-	-	-
7	7/8	22.22	22	27	22	22	38	38	15
-	.984	25.00	-	-	25	-	-	-	-
9	1	25.40	25	31	25	25	41	44	17
10	1 1/4	31.75	32	33	31	31	54	54	21
-	1.260	32.00	-	-	32	-	-	-	-

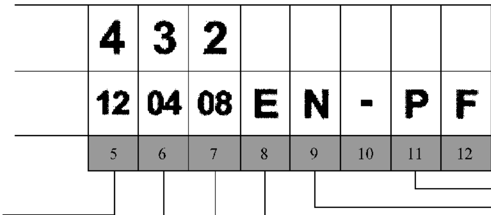
注意：代码中的圆括号内的实测尺寸，用于O或E（小于1/4英寸“IC”）

b)

图 4-6　刀具车削刀片代码（续）

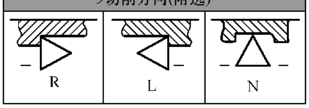
IC		尺寸"IC"公差							
		"M"等级公差						"U"等级公差	
		形状S,T,C,R&W		形状O		形状V		形状S,T&C	
英寸	mm	英寸	mm	英寸	mm	英寸	mm	英寸	mm
5/22	3.97	.002	0.05	-	-	-	-	-	-
3/16	4.76			-	-	-	-	.003	0.05
7/32	5.55			09	07	13	13		
1/4	6.35								
5/16	7.94								
3/8	9.52								
7/18	11.11	.003	0.06	13	11	19	19	.005	0.13
1/2	12.10								
9/16	14.29								
5/6	15.88	.004	0.10	18	15	27	27	.007	0.18
11/16	17.68								
3/4	19.05								
7/8	22.22	.005	0.13	-	-	-	-	.010	0.25
1	25.40			-	-	-	-		
5/4	31.35	.006	0.15	-	-	-	-		

IC		尺寸"B"公差							
		"M"等级公差						"U"等级公差	
		形状S,T,C,R&W		形状O		形状V		形状S,T&C	
英寸	mm	英寸	mm	英寸	mm	英寸	mm	英寸	mm
5/32	3.97	.003	0.05	-	-	-	-	-	-
3/16	4.78			-	-	-	-	.005	0.13
7/32	5.56			.004	0.11	-	-		
1/4	6.35					-	-		
5/16	7.94					-	-		
3/8	7.52					.007	0.18		
7/16	11.11	.005	0.13	.008	0.15	-	-	-	-
1/2	12.10					.010	0.25	.008	0.20
9/16	14.29					-	-	-	-
5/8	15.88	.006	0.15	.007	0.18	-	-	.011	0.27
11/16	17.48					-	-		
3/4	19.05					-	-		
7/8	22.22	.007	0.18	-	-	-	-	.015	0.38
1	25.40			-	-	-	-		
1 1/4	31.75	.008	0.20	-	-	-	-		



12加工类型	
R	粗加工
M	中等加工
F	精加工
RR	粗加工(粗)
FF	超精加工
HR	重载加工
MF	中等加工(精)
HF	粗加工(轻)

9切削方向(附选)



11加工材料	
P	铜
K	铸铁
M	不锈钢
N	有色金属
S	耐热合金/钛合金
H	淬硬材料
U	无特别材料指定

6刀片厚度			
代号		厚度	
英寸		英寸	
5(1)	-	1/3	0.79
.6	TO	.040	1.00
1(2)	01	1/16	1.59
1.2	T1	5.64	1.99
1.5(3)	02	3/32	2.33
2	03	1/8	3.18
2.5	T3	5/32	3.97
3	04	3/16	4.76
3.5	05	7/32	5.55
4	06	1/4	6.35
5	07	5/16	7.94
6	09	3/8	9.52
7	11	7/16	11.11
8	12	1/2	12.70

注意：代码中的圆括号内的实测尺寸，用于O或E
（小于1/4英寸"IC"）

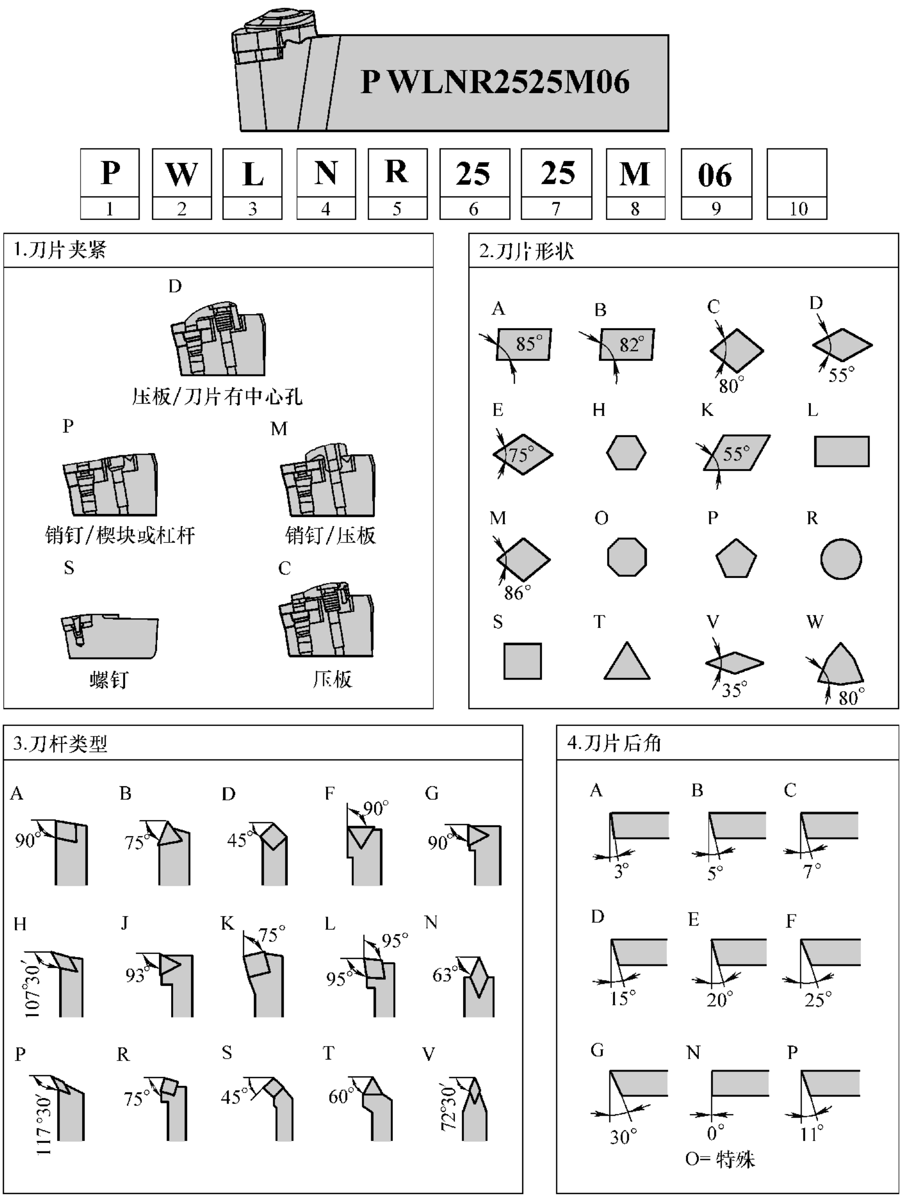
7刀片厚度			
代号		厚度	
英寸	mm	英寸	mm
X0	X0	.0015	.01
0	01	.004	0.1
.5	02	.008	0.2
1	04	1/64	0.4
2	08	1/32	0.5
3	12	3/64	1.2
4	16	1/18	1.5
5	20	5/54	2.0
6	24	3/32	2.4
7	28	1/64	2.5
8	32	1/8	3.2
-	00	圆刀片(英寸)	
-	MO	圆刀片(inch)	

8切削刃口处理	
E	倒纯刃口
F	锋利
S	负倒棱加倒纯
T	负倒棱

b) (续)

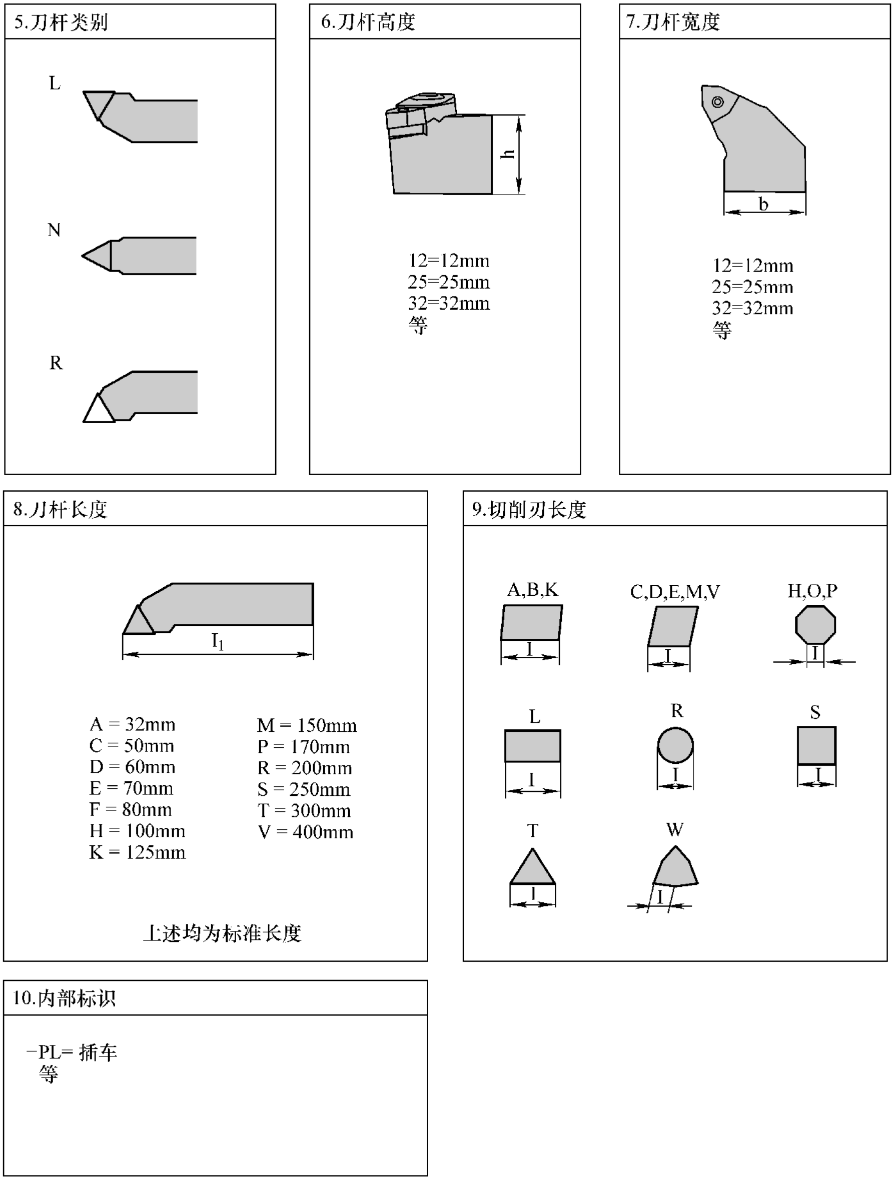
图 4-6　刀具车削刀片代码（续）

b）千木刀具刀片代码



a)

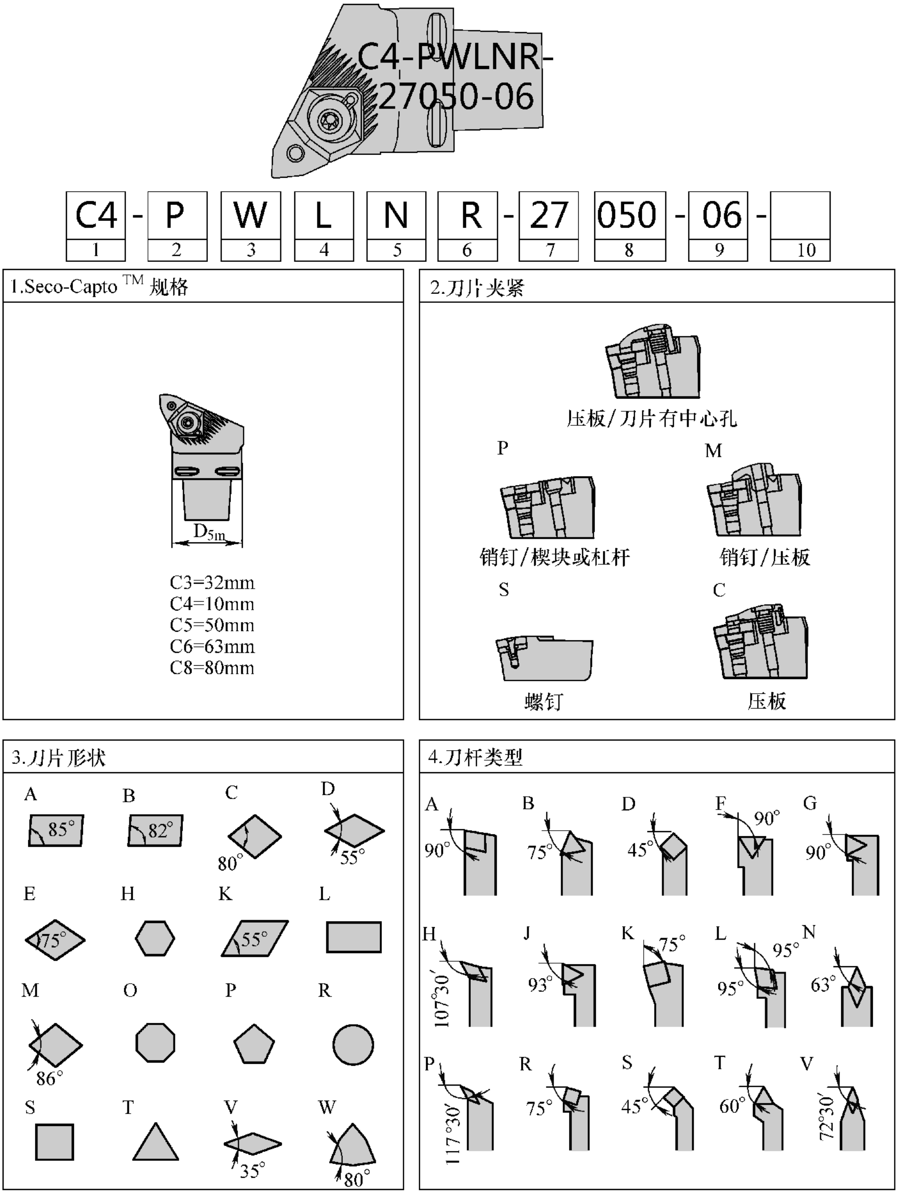
图 4-7　机夹可转位外圆车刀的 ISO 代码



a) (续)

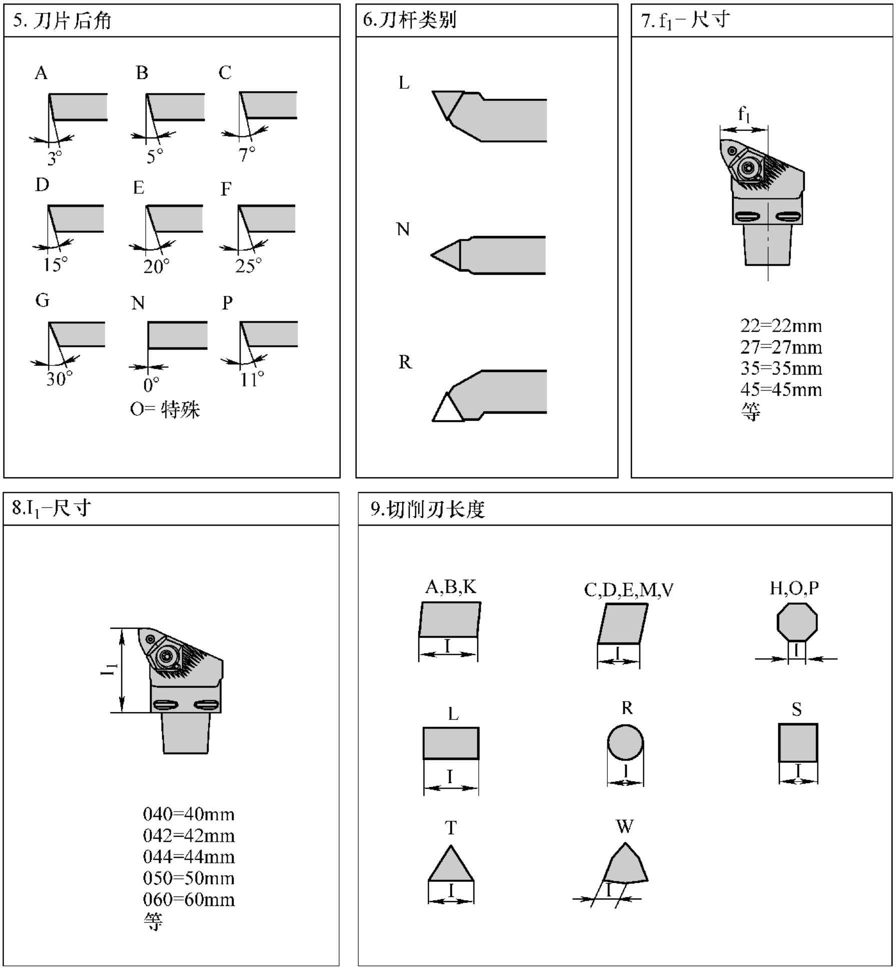
图 4-7　机夹可转位外圆车刀的 ISO 代码（续）

a）机夹外圆车刀代码



b)

图 4-7　机夹可转位外圆车刀的 ISO 代码（续）



b) (续)

图 4-7　机夹可转位外圆车刀的 ISO 代码（续）

b）山高刀具车削模块外圆车刀代码

复合压紧式（刀具代码的第一个字母为 M）可转位外圆车刀采用偏心销和压板两种夹紧方式复合压紧刀片，夹紧可靠，能承受较大的切削负荷和冲击，适用于重负荷断续切削。其刀具型号（0°后角刀片）及加工时切削方向如图 4-8 所示（注意图中刀具视图和切削方向为右手刀）。

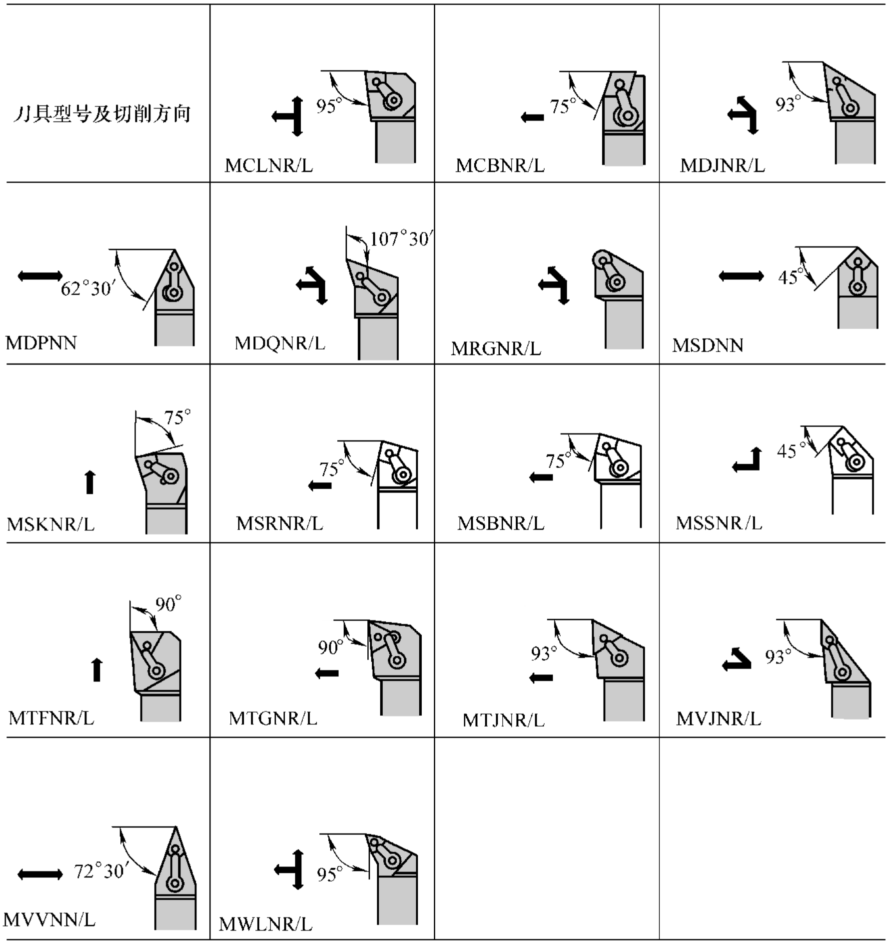


图 4-8　复合压紧式可转位外圆车刀型号（0°后角刀片）及切削方向

螺钉压紧式可转位外圆车刀采用螺钉直接压紧，结构简单，配件少，切屑流动比较通畅。采用 7°后角刀片时，适用于轻载切削加工场合，其刀具型号及切削方向如图 4-9 所示。

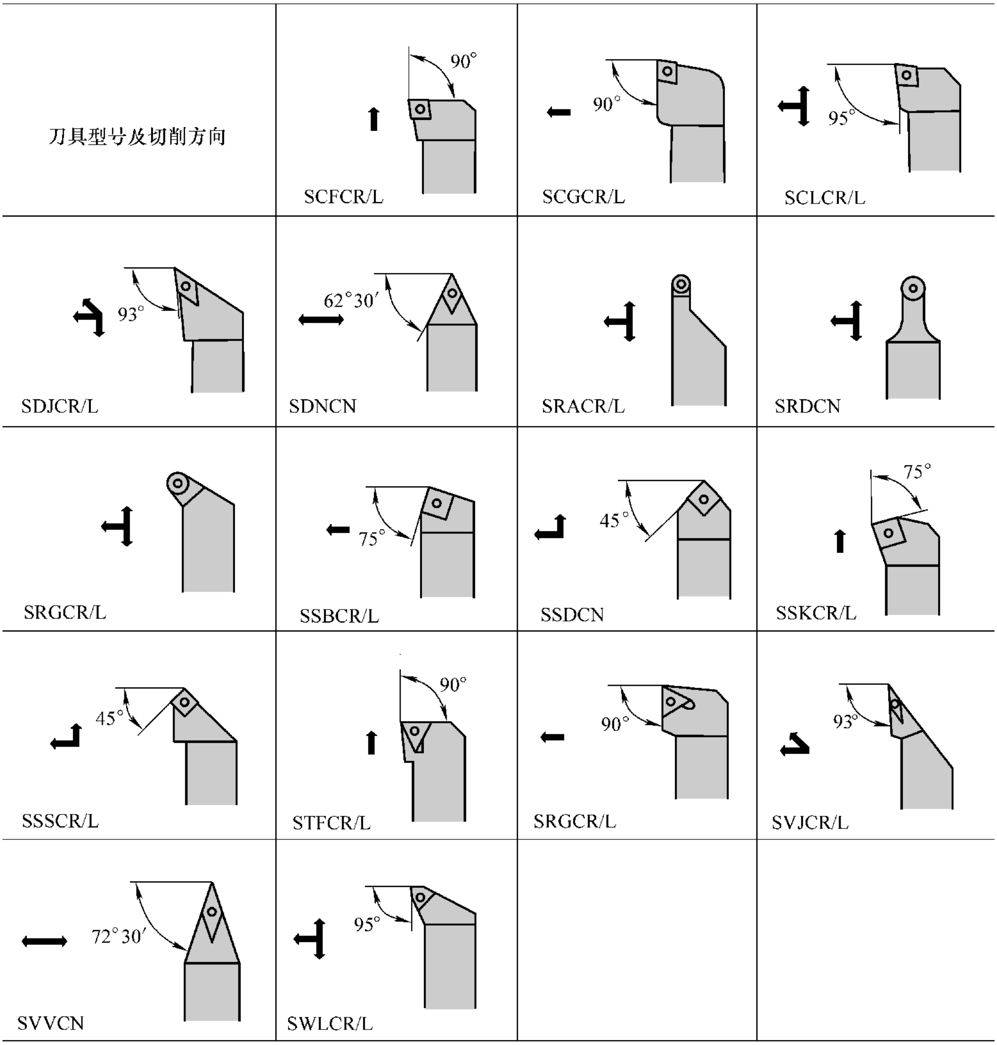
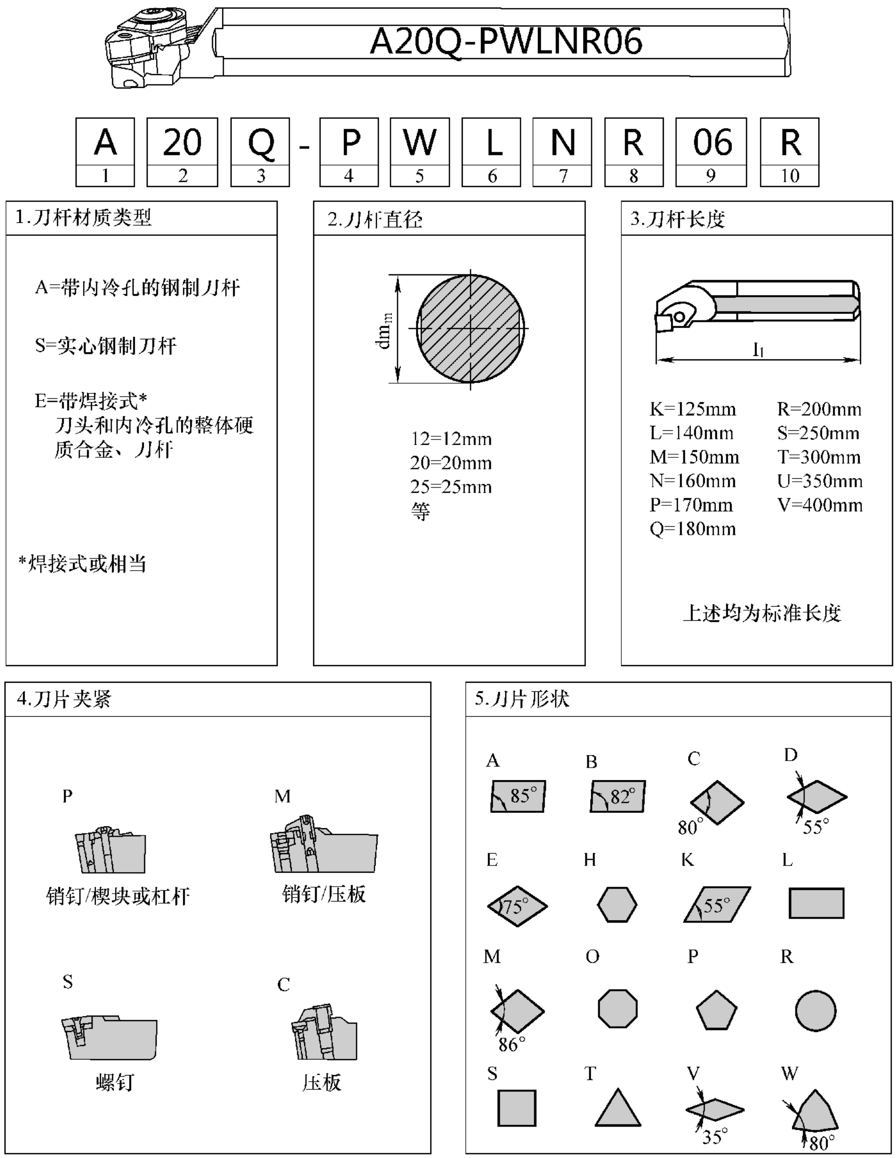


图 4-9　螺钉压紧式可转位外圆车刀型号（7°后角刀片）及切削方向

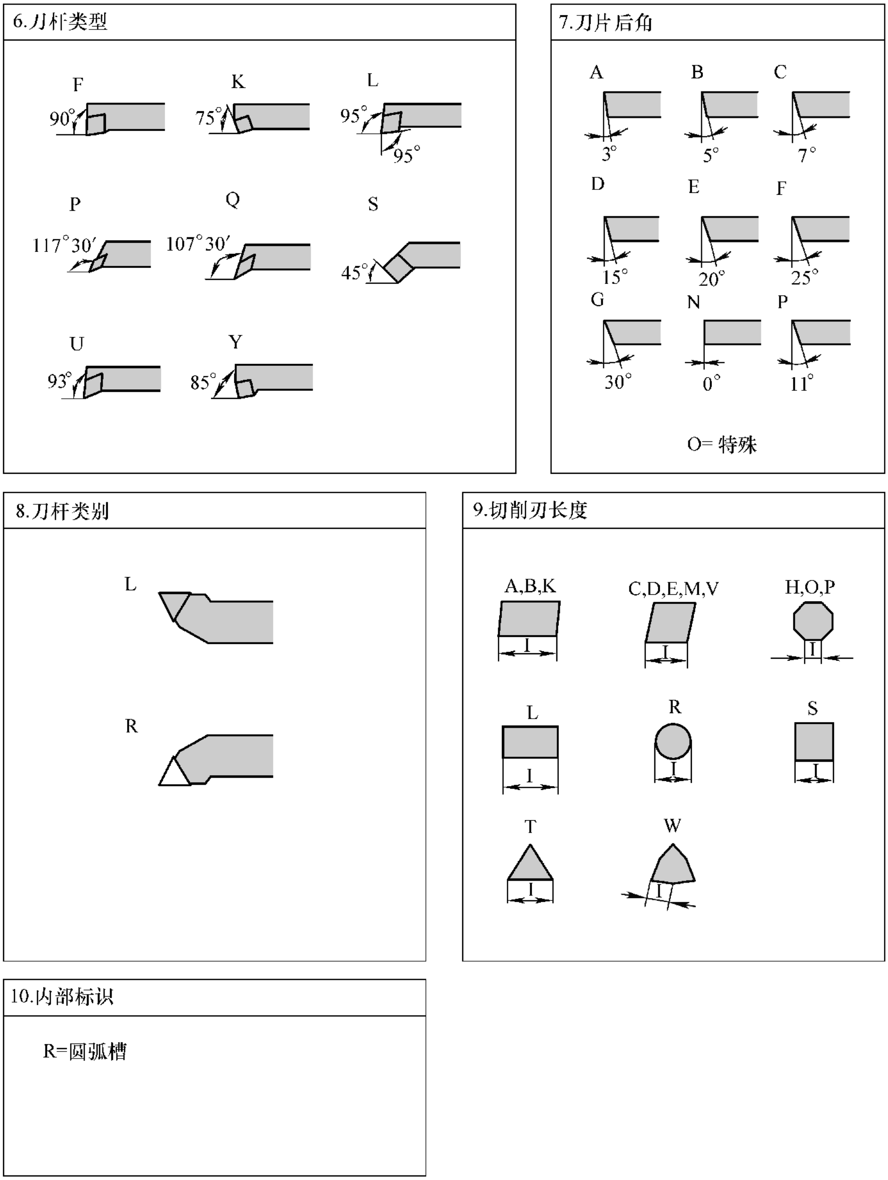
2. 机夹可转位内孔车刀

机夹可转位式内孔车刀（镗刀）的 ISO 代码如图 4-10 所示。其中螺钉压紧式内孔车刀结构简单，配件少，切屑流动比较通畅。图 4-11 为采用 7°后角刀片的可转位式内孔车刀的刀具型号及加工时切削方向，适用于轻载切削加工的场合。为防止后刀面与内孔表面产生摩擦挤压，一般应采用带一定后角的刀片。



a)

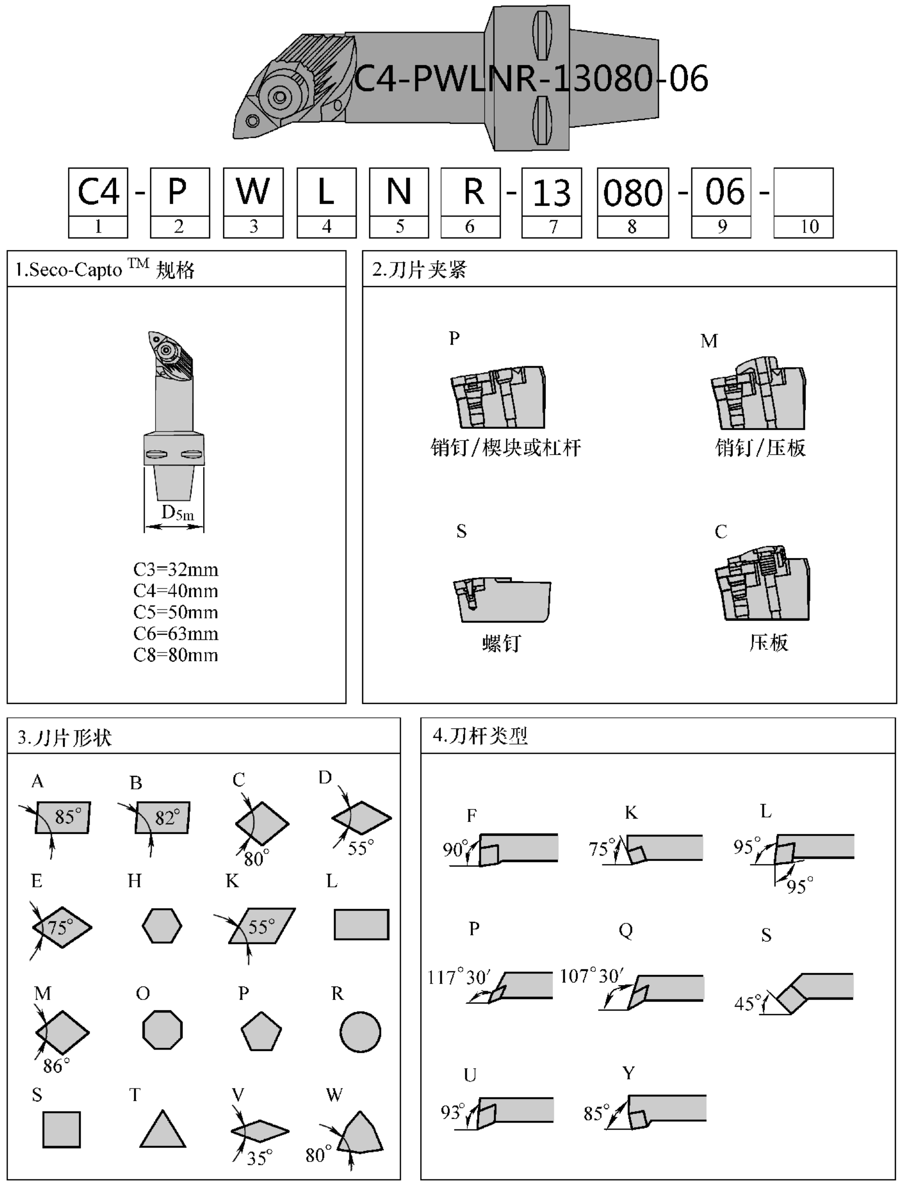
图 4-10　机夹可转位式内孔车刀（镗刀）的 ISO 代码



a) (续)

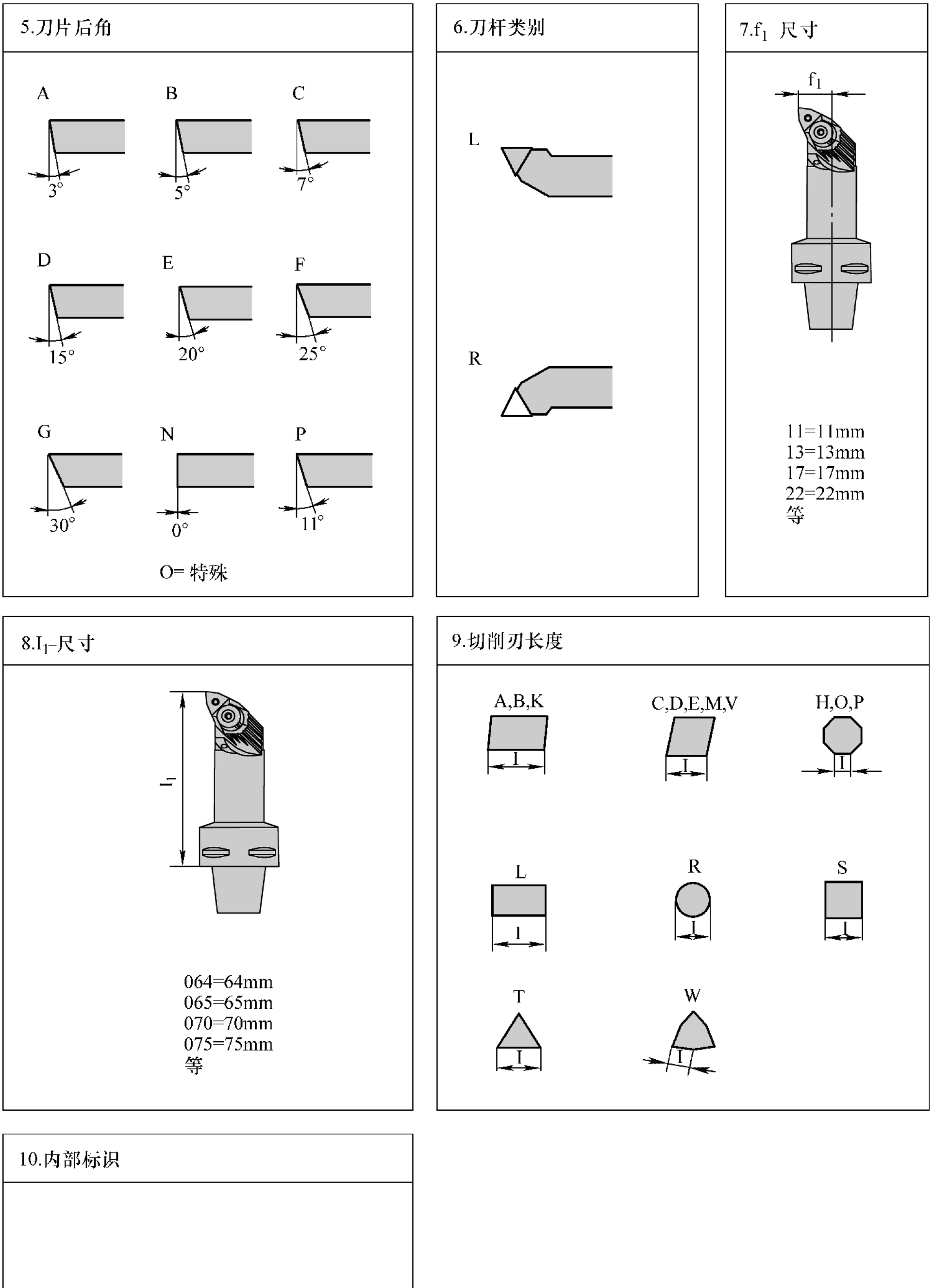
图 4-10　机夹可转位式内孔车刀（镗刀）的 ISO 代码（续）

a）机夹内孔车刀代码



b)

图 4-10　机夹可转位式内孔车刀（镗刀）的 ISO 代码（续）



b) (续)

图 4-10　机夹可转位式内孔车刀（镗刀）的 ISO 代码（续）

b）山高刀具车削模块内孔车刀代码

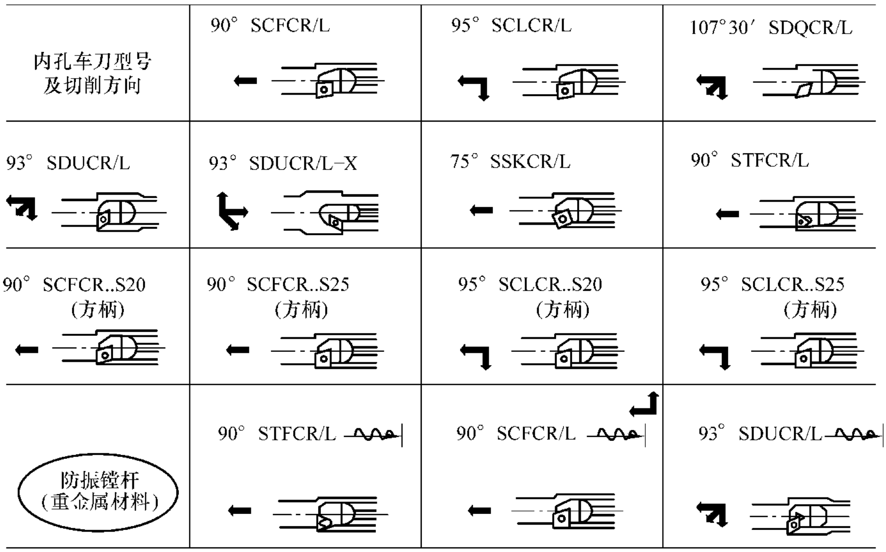


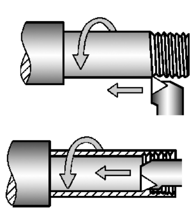
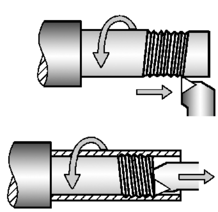
图 4-11　7°后角刀片可转位式内孔车刀的刀具型号及切削方向

4.2.3　机夹可转位式螺纹车刀代码

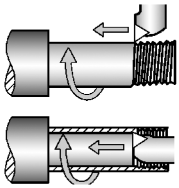
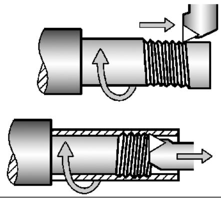
目前，机夹可转位式螺纹车刀还没有统一的 ISO 代码，但不同刀具制造商采用的代码大同小异，主要包括刀片压紧方式、刀片切削角度、切削方向和刀具长度等。图 4-12 和图 4-13 所示分别为千木刀具、山高刀具螺纹车刀代码和刀片代码。

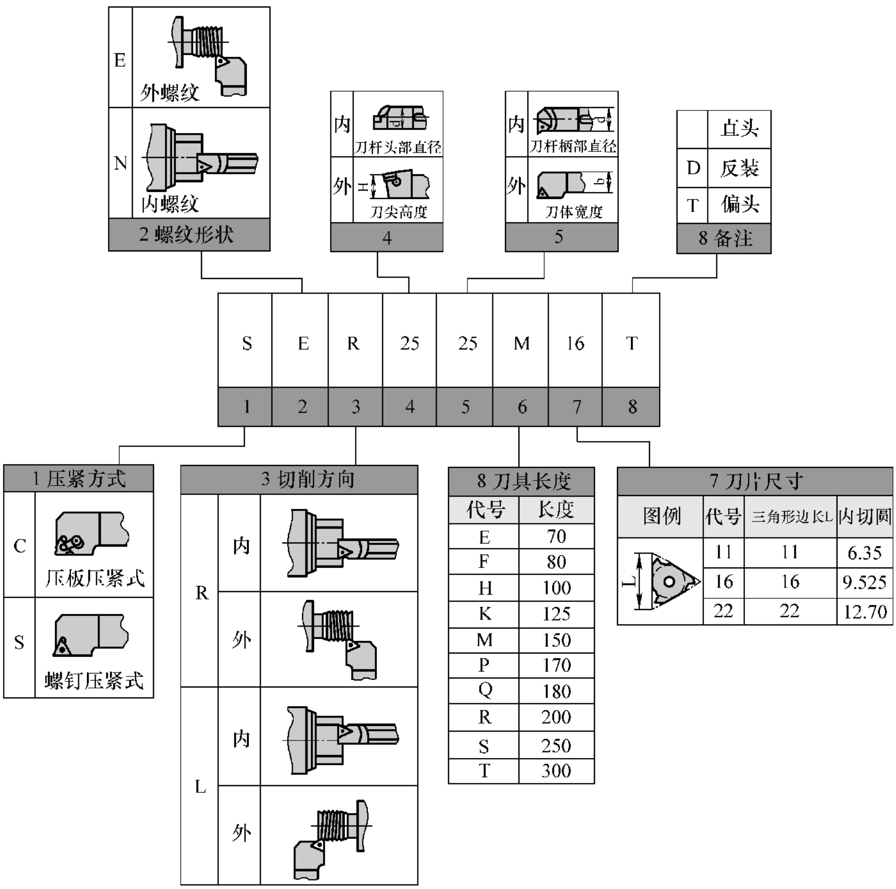
在数控车床上车削螺纹时，螺纹车刀的选择除要考虑到刀片类型、材质等因素外，还要注意加工螺纹是右手还是左手螺纹，是内螺纹还是外螺纹，采用左手刀杆还是右手刀杆加工等因素，表 4-2 所示螺纹车削时各种加工方式，至于螺纹车削时进刀方式、进刀步数和深度、车削速度等因素请参考其他教材中介绍，在此不再一一说明。

表 4-2　螺纹车削时各种加工方式

朝向卡盘车螺纹加工	背向卡盘车螺纹加工
右手螺纹–右手刀杆 	左手螺纹–右手刀杆 

（续）

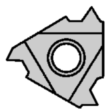
<table>
<tr><th>朝向卡盘车螺纹加工</th><th>背向卡盘车螺纹加工</th></tr>
<tr><td>左手螺纹-左手刀杆
</td><td>右手螺纹-左手刀杆
</td></tr>
<tr><td>特点：朝向卡盘车螺纹加工刚性较佳，内螺纹加工过程可能产生切屑堵塞，尤其是当螺纹刀杆与被加工孔之间的间隙小的时候</td><td>特点：背向卡盘车螺纹加工时，内螺纹加工过程排屑顺畅，但只能使用 CNR/L 刀杆。刀片的锁紧和刀杆的安装必须牢靠</td></tr>
</table>



a)

图 4-12　千木刀具螺纹车刀代码和刀片代码

a）螺纹车刀的代码



2 切削类型	
E	外螺纹切削
N	内螺纹切削

3 切削方向	
R	右切
L	左切

4 螺距代号

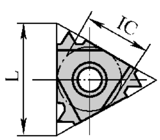
全牙型
(螺距用数字表示)
0.35～9.0 mm
72–2　TPI (牙/吋)

V 牙型
(范围以字母表示)

	mm	TPI(牙/吋)
A	0.5～1.5	48～16
AG	0.5～3.0	48～8
G	1.75～3.0	14～8
N	3.5～5.0	7～5
U	5.5～9.0	4.5~2.75
Q	5.5～6.0	4.5～4

16	N	R	1.75	ISO
1	2	3	4	5

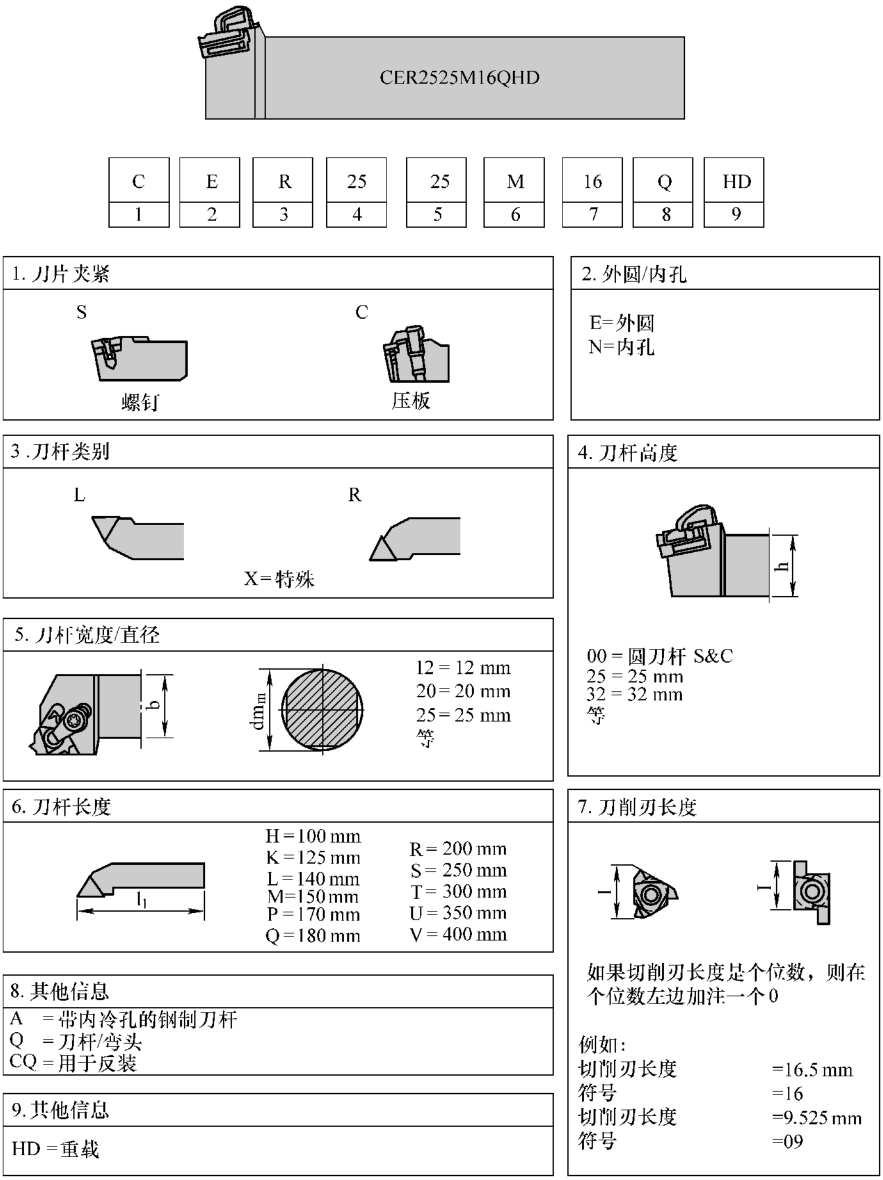
1刀片尺寸	
L(mm)	IC
06	3.97mm=5/32″
08	4.76mm=3/16″
11	6.35mm=1/4″
16	9.525mm=3/8″
22	12.7mm=1/2″
27	15.875mm=5/8″



5 螺纹刀片牙型	
60	60° 牙型螺纹刀片
55	55° 牙型螺纹刀片
ISO	ISO 米制全牙型螺纹刀片
UN	美制UN全牙型螺纹刀片
W	惠氏全牙型螺纹刀片
TR	Trapeze DIN 103螺纹刀片
ACME	ACME梯形螺纹刀片
STACME	短齿ACME梯形螺纹刀片
UNJ	UNJ螺纹刀片
NPT	NPT全牙型螺纹刀片
NPTF	NPTF全牙型螺纹刀片
RD	API圆齿螺纹刀片

b)

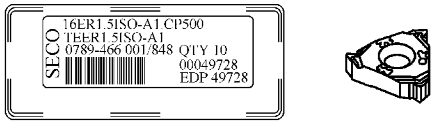
图 4-12　千木刀具螺纹车刀代码和刀片代码（续）
b）刀片代码



a)

图 4-13　山高刀具螺纹车刀代码和刀片代码

a）螺纹车刀代码



16	E	R	1.5	ISO	-	A1
1	2	3	4	5		6

1. 切削刃长度



如果切削刃长度是个位数，则在个位数左边加注一个0

例如：

切削刃长度	=16.5 mm
符号	=16
切削刃长度	=9.525 mm
符号	=09

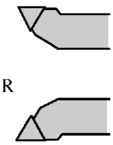
2. 外圆/内孔

E = 外圆
N = 内孔

3. 刀杆类别

L

R



X= 特殊

4. 螺距

全牙型 mm: (mm)

0.50	1.25	3.0	6.0
0.70	1.50	4.0	8.0
0.75	1.75	4.5	10.0
0.80	2.00	5.0	12.0
1.00	2.50	5.5	14.0

全牙型 : (TPI)

48	18	11	6.0	2.5
40	16	10	5.0	2.0
32	14	9	4.5	
24	13	8	4.0	
20	12	7	3.0	

非全牙型：

A	=0.50–1.50 mm	48–16 TPI
AG	=0.50–3.00 mm	48–8 TPI
G	=1.75–3.00 mm	14–8 TPI
N	=3.50–5.00 mm	7–5 TPI
K	=5.50–10.00 mm	4.5–2.5 TPI

5.螺纹

螺纹 =

60	– V型，60°
55	– V型，55°
ISO	= ISO，公制
UN	– 美制，UN
UNJ	– 美制航空
MJ	= 公制航空
W	– Whitworth,BSW
BSPT	– Whitworth,锥管
NPT	= 美制 NPT
NPTF	– 美制 NPTF (干密封)
RD	– 圆形，DIN 405
TR	= 梯形，DIN 103
ACME	– 美制梯形
STACME	–美制短牙梯形
API 384	=API V 038R 1:4
API 386	–API V 038R 1:6
API 404	–API V 040 1:4
API 504	=API V 050 1:4
API 506	–API V 050 1:6
API RD	–API 圆形锥管
BUT 2.5	=Buttress,圆2.5
BUT 2.6	–Buttress,圆2.6
VAM	–VAM Vallourec

6. 每刃齿数/断屑槽型

2M	=2齿	A	=通用断屑槽
3M	=3齿	A1	=断屑槽标识
TT	=胞齿	A2	=断屑槽标识

b)

图 4-13　山高刀具螺纹车刀代码和刀片代码（续）
b）刀片代码

4.2.4　其他机夹可转位式车刀代码

其他机夹可转位式车刀，如切槽和切断车刀还没有统一的 ISO 代码，但不同刀具制造商采用的代码大同小异，主要包括刀片压紧方式、刀片切削角度、切削

方向和刀具长度等组成，请参阅各刀具制造商刀具说明，此处不再一一说明。

4.3　车削加工刀具的选择

数控车床刀具的选用要根据加工零件图样考虑到各种影响因素，如机床的影响因素，刀杆截面形状，刀片材质、形状、加紧方式、断屑槽及工件材料等。数控车床在实际加工中，刀具选用主要从以下几个方面考虑：

4.3.1　刀片材质的选择

常见刀片材料有高速钢、硬质合金、涂层硬质合金、陶瓷、立方氮化硼和金刚石等，其中应用最多的是硬质合金和涂层硬质合金刀片，各刀具材料的性能见本书第 3 章。这里介绍几家刀具生产厂家对刀片材质型号编制规则，以方便生产加工过程中刀具选择。图 4-14 所示为成都千木刀具刀片材质型号编制规则；图 4-15 所示为肯纳刀具刀片材质型号编制规则。山高刀具的刀片材质由镀层材质等级（CVD 和 PVD）、未镀层材质等级和金属陶瓷构成，图 4-16 所示为山高刀具的刀片材质等级与 ISO（P、M、K、N、S、H）分类对照。表 4-3 ~ 表 4-8 为各刀具生产厂家刀片材质代码对照表。

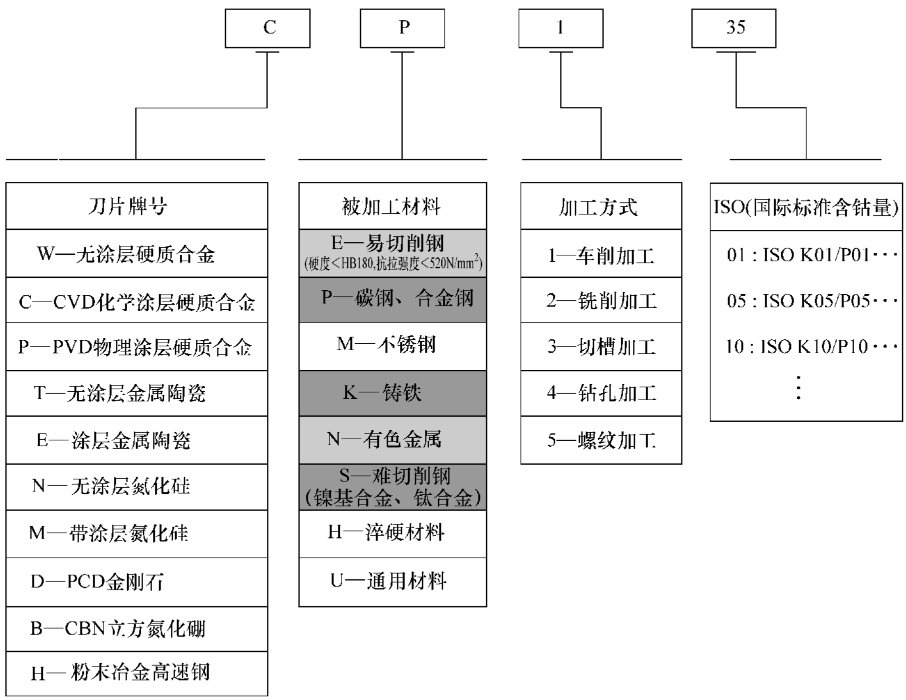


图 4-14　千木刀具刀片材质型号编制规则

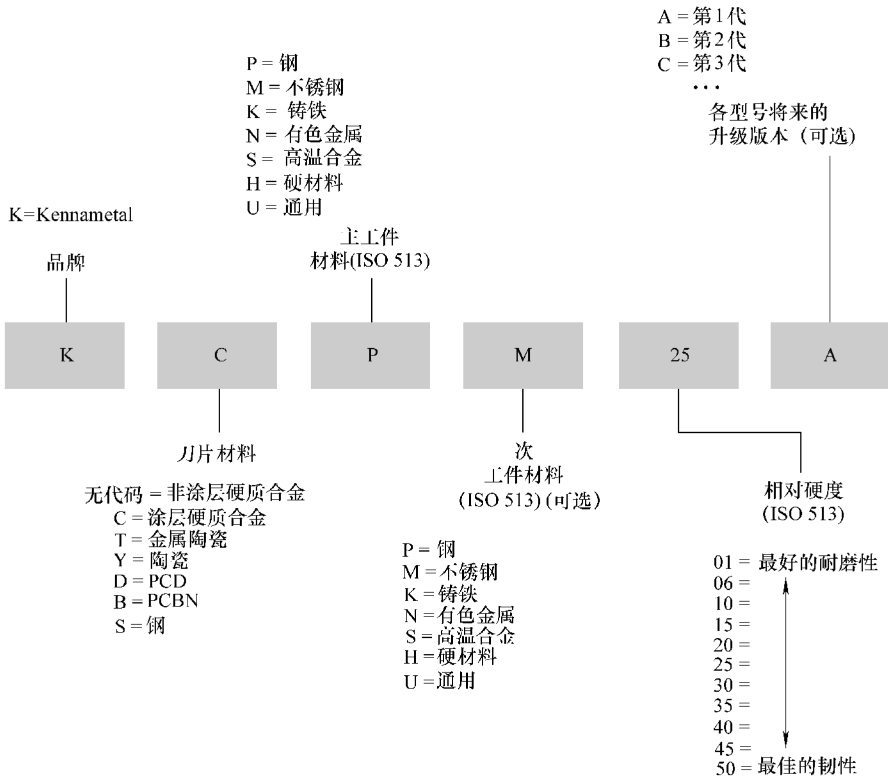


图 4-15　肯纳刀具刀片材质型号编制规则

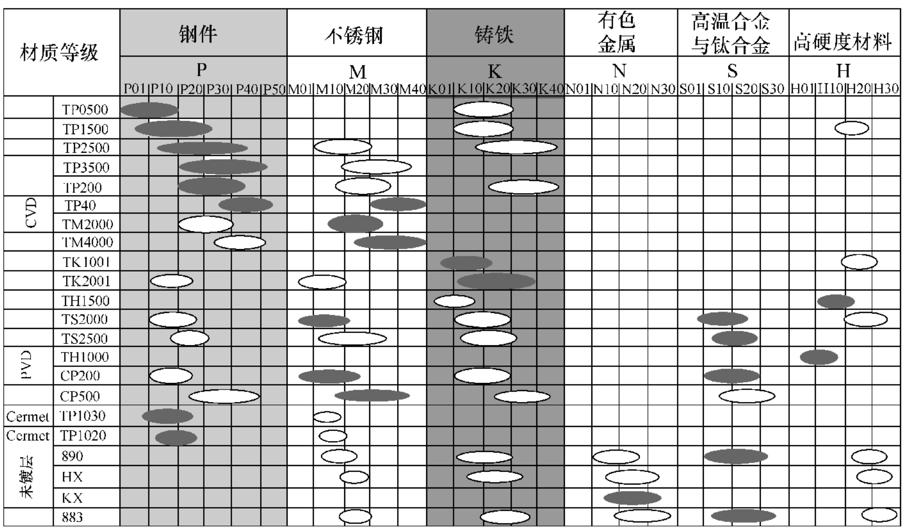


图 4-16　山高刀具的刀片材质等级与 ISO（P、M、K、N、S、H）分类对照

表 4-3　金属陶瓷刀片材质代码对照

分类记号	京资	黛杰	日立	三菱	科劳伊	山特维克	山高	住友电气工业	东芝	肯纳
P01	TN30 **PV30**	LN10 CX50	CH350	**AP25N**	CN100 CT10	CT5005		T110A	NS520 GT520 **AT520**	KT125 HTX
P10	TN6020 TN60 **PV60** **PV7020**	LN10 CX50 CX75	CH350 **CZ25** **CZ25**	**AP25N** **NX2525**	CC115	CT5015 CT525 GC1525	CM	T2000Z T1200A	NS520 **AT520** **AT530**	KT175 HT2
P20	TN6020 TN90 **PV90** **PV7020**	CX50 CX75	CH550 **CZ1025**	NX2525 NX335 **AP25N** **UP35N**	CN200	**GC1525**	CM	T130A T3000A	NS530 **AT530** **GT530**	PS5 KZ205
P30				**VP45N**	CN20			T3000Z	NS530	
M10	TN6020 TN60 **PV60** **PV7020**	CX50 LN10	CH350	NX2525		CT5015 CT525 GC1525	CM	T110A T2000Z	NS520 **AT530** **GT530**	KT315 KT125
M20	TN6020 TV90 **PV90** **PV7020**	CX50 CX75	CH550 **CZ1025**	AP25N NX2525	CN200	**GC1525**		T2000Z T1200A	NS530	KT175 HT12 PS5
M30		CX75		AP25N NX2525				T3000Z		KZ205
K01	TN30 **PV30**	LN10		AP25N NX2525		CT5015		T110A	NS520 **AT520** **GT520**	
K10	TN60 TN6020 **PV60** **PV7020**	LN10	CH350	NX2525 **AP25N**		CT5015 CT525			NS520 **AT530** **CT530**	KT315 HTX
K20		CX75		NX2525 **AP25N**						

注：粗体字表示车削用 PVD 涂层金属陶瓷

表 4-4　车削硬质合金刀片材质代码对照

分类代号	三菱	住友	东芝	京瓷	黛杰	日立	山特维克	肯纳	山高	伊斯卡
P01					SRU					
P10		ST10P ST15E	TX10S		SRT	WS10	S1P	P10		IC70
P20	UTi20T	ST20E	TX20 TX25		SRT DX30	EX35	SMA	K125M TTM		IC70 IC50M
P30	UTi20T	A30 A30N	TX30 UX30	PW30	SR30 DX30 DX35	EX35 EX40	SM30	GK K600 TTR		IC50M IC54
P40		ST40E	TX40		SR30 DX35	EX45	S6	G13		IC54
M10		U10E	TU10		UMN UM10	WA10B	H10A	K313	890	
M20	UTi20T	U2	TU20		DX25 UM20 UMS	EX35	H13A	K68 KMF K125M TTM	HX 883	IC08
M30	UTi20T	A30 A30N	UX30		DX25 UM30 UMS	EX40 EX45	H10F SM30	K600 TTR		IC08 IC28
M40			TU40		UM40	EX45	S6	G13		IC128
K01	HTi05T	H1 H2	TH03		KG03	WH05	H1P	K605		
K10	HTi10	EH10 EH510	G1F TH10	KW10	KG10 KT9 CR1	WH10	H1P H10 HM	K10 * K133 KF1 * K110 M THM * TH M－U	890	IC20
K20	UTi20T	G10E EH20	G2F G2		KG10 KT9	WH20	H13A	K715 KMF	890 HX	IC20 IC10
		EH520	KS20		CR1			K600	883	
K30	UTi20T	G3	G3		KG30			THR	883	IC10

表 4-5　车削用 CVD 涂层材料刀片材质代码对照

分类代号	三菱	住友	东芝	京瓷	黛杰	日立工具	山特维克	肯纳	山高	伊斯卡
P01	UE600	AC700G	T9005	CR7015	JC11V	GM8015 HC5000	GC4005	KC9110 TN7005	TP1000	

（续）

分类代号	三菱	住友	东芝	京瓷	黛杰	日立工具	山特维克	肯纳	山高	伊斯卡
P10	UE600 UE601 UE602 UC601	AC700G AC2000	T9015	CR7015	JC110V JC215V	GM8015 GM8020 GM10	GC4005 GC4015 GC3115	KC9110 TN7005 TN7010	TP1000 TP2000 TP200 TX150	IC9015
P20	UE601 UE602 UC601	AC2000	T9015 T9025	CA5515 CA5525 CA5025 CR9025	JC110V JC215V	GM8020 GM25	GC4015 GC4025 GC2015 GC3025 LC25	KC9125 TN7015	TP2000 TP200	IC9025
P30	UE603 UH640 US735	AC3000	T9025 T9035	CA5525 CA5025 CA9025	JC215V JC325V	GM8035 GM25	GC4025 GC4035 GC2025 GC305	KC8050 KC850 TN7025	TP3000 TP300 TP400	IC656 IC9054
P40	UE603 UH640 US735	AC3000	T9035		JC325V JC450V	GM8035 GM30 GF30	GC4035 GC235	KC9040	TP400 TP40	IC9054 IC635
M10	US702	AC2000	T9015	CA6015	JC110V	GM10	GC2015	TN7010	TP200	
M20	US702	AC2000	T6020	CA6015	JC110V	GM8020 GM25	GC2025	KC9225 TN7015 TN2525	TP200 TP300	IC9025
M30	US735	AC3000 AC304	T6030			GM25 GX30 GF30	GC2135 GC235	KC9040 KC8050 TN7025 TN8025	TP300 TP400 TP40	IC9025
M40	US735	AC304				GX30 GF30	GC235	KC9240 KC9245	TP400 TP40	
K01	UC510 UC500	AC300G	T5010	CA4010	JC105V	GM3005 GM8015	GC3205 GC3210		TX100	IC9007
K10	UC511 UC501 UE601 UC601	AC700G	T5010 T5020	CA4010 CA4115	JC105V JC110V	GM8015 GM8020	GC3005 GC3015 GC3115 BC3205 BC3210	KC9315 TN5015 TN7010	TX100 TX150	IC418 IC428
K20	UE601 UC601	AC700G	T5020	CA4120	JC110V JC215V	GM8020 GM25	GC3215 GC3025	KC9315 TN5020 TN7015	TP200 TX150	IC9015
K30					JC215V	GM25		KC8050	TP200	

表 4-6　车削用 PVD 涂层材料刀片材质代码对照

分类代号	三菱	住友	东芝	京瓷	黛杰	山特维克	肯纳	山高	伊斯卡
P01				PR915	JC5003				
P10	VP10MF			PR630 * PR915 PR930	JC5003		KC5010 KC5510	CP200	IC507
P20	VP15TP VP20MF			PR660 PR930	JC5015	GC1020 GC4015 GC1025		CP250	IC507 * IC570 IC308 IC908
P30	VP15TF VP20MF		GH330 AH120	PR660	JC5015			CP500	IC308 * IC908 IC328 * IC3028 IC354
P40			AH120			GC1020 GC2145		CP500	IC328 * IC3028 IC354
M10	VP10MF	EH510Z		PR630 * PR915	JC5003	GC1005 GC1025	KC5010 KC5510	CP200	IC507 IC907
M20	VP15TF VP20MF	EH520 Z	GH330	PR630 PR915	JC5015	GC1020 GC1025 GC4125		CP200 CP500	IC507 * IC908 IC1028
M30	VP15TF VP20MF		AH120	PR660	JC5015	GC1020 GC2035	KC5025 KC5525 KC710	CP500	IC328 IC1028
M40						GC2145			
K01		EH10Z	AH110		JC5003				
K10		EH10Z EH20Z	GH110 AH110		JC5003 JC5015		KC5010 KC5510	CP200	IC507 IC907
K20	VP15TF	EH20Z	AH120					CP200 CP250	IC308 IC908
K30	VP15TF							CP500	IC328 IC3028 * IC1028

表 4-7　车削用 PCD 材料刀片材质代码对照

分类代号	三菱	住友	东芝	黛杰	山特	京瓷	GE
N01	MD205	DA90	DX180	JDA735		KPD025	1700
N10	MD205 MD220	DA150	DX160	JDA745	CD10	KPD010	1500
N20	MD220 MD230	DA200	DX140 DX120	JDA715 JDA10		KPD010	1300
N30	MD230	DA2200				KPD001	1600

表 4-8 车削用 CBN 材料刀片材质代码对照

分类代号	三菱	住友	东芝	京瓷	黛杰	山特维克	GE
H01	MBC010 MB810	BNX10 BNC150	BX310				
H10	MB8025 MB820	BN250 BNX20	BX330 BXC50	KBN10B	JBN330 JBN300	CB7020	HTC2000
H20	MB8025 MB825	BX25 BNC200	BX360	KBN25B		CB7050	BZN8200
H30	MB8025 MB835	BN300	BX380				
S01	MB730	BN600 BN700	BX950				
K01	MB710	BN500	BX930				
K10	MB710 MB730	BN600 BN700	BX950	KBN65B	JBN795	CB7050	BZN6000
K20	MB730	BN600 BN700		KBN900	JBN330		
K30		BNS800					

4.3.2 刀片形状的选择

与普通机床加工方法相比，数控加工对刀具提出了更高的要求，不仅需要刚性好、精度高，而且要求尺寸稳定，耐用度高，断屑和排屑性能好，同时要求安装调整方便，这样来满足数控机床高效率的要求。数控车削中广泛采用机夹可转位刀具，它是提高数控加工生产率，保证产品质量的重要手段。

可转位车刀刀片种类繁多，使用最广的是菱形刀片，其次是三角形刀片、圆形刀片及切槽刀片。菱形刀片按其菱形锐角不同有 80°（C 型）、55°（D 型）和 35°（V 型）三类。

80°菱形刀片在数控车床加工中最为常用，C 型刀片与 T 型、S 型相比，只需将刀片对称反装互为基准即可，安装与加工精度最高。D 型和 V 型菱形刀片虽也可对称反装，安装与加工精度也高，但 C 型刀尖顶角为 80°，相对刀头强度大、耐损伤、更易长期保持精度。

80°菱形刀片刀尖角大小适中，刀片既有较好的强度、散热性和耐用度，又能装配成主偏角略大于90°的刀具，用于端面、外圆、内孔、台阶的加工。同时，这种刀片的可夹固性好，可用刀片底面及非切削位置上的80°刀尖角的相邻两侧面定位，定位方式可靠，且刀尖位置精度仅与刀片本身的外形尺寸精度相关，转位精度较高，适合数控车削。35°菱形刀片因其刀尖角小，干涉现象少，多用于车削工件的复杂型面或开挖沟槽。

刀片的刀尖顶角越大，刀头强度越高，散热性越好，但切削力也大，刀尖顶角越小，仿形加工能力越强。几种主要车削刀片形状性能与特点比较见表4-9。在实际加工中刀片选择除考虑上述各刀片特点外，主要根据加工工序来选择，如图4-17所示。

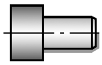
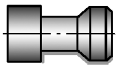
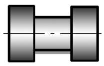
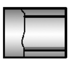
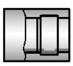
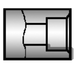
表4-9　几种主要车削刀片形状性能与特点比较

性能及评价 \ 刀片形状		V型（菱形）	D型（菱形）	C型（菱形）	W型（等边不等角形）	S型（正方形）	T型（三角形）	R型（圆形）
强度	顶角	35°	55°	80°	80°	90°	60°	180°
	评价	顶角越大强度越高						
经济性	可用刃数	2～4	2～4	2～4	3～6	4～8	3～6	更多
	评价	可用刃数越多越经济						
仿形加工能力		顶角越小仿形加工能力越强						
精度		顶角小转位次数少，精度可达较高						
散热性		顶角越大散热性能越强						
切削力		顶角越大切削阻力越大						

4.3.3　主切削刃法后角的选择

主切削刃法后角由0°、3°、5°、7°、15°、20°、25°、30°、11°作为标准值，分别由N、A～G、P各代号代表，不在此系列的以字母O作代号。在实际加工使用中，法后角为零的刀片，被广泛使用。但加工中，实际后角不可为零，否则刀具将与加工表面产生强烈摩擦，致使无法进行加工。因此车刀刀杆上刀槽的形状必须使刀片装上后形成后角，这样必然造成刀片后部上抬，前角成为负值，前角为负值的刀片切削刃强度大，但锋利性差，为弥补这一缺点，在刀片上加工出各种各样断屑槽，从而使法后角为零的刀片得到极为广泛的使用。

法后角为零的刀片，上下面积、结构、形状可做得完全相等。此时上下面均

外圆切削	80° C	55° D	– R	90° S	60° T	80° W	35°	35°
	●●	●	●	●	●	●		●
		●●	●		●		●	●
	●	●	●	●●	●	●		●
			●●		●			
内孔切削	80° C	55° D	– R	90° S	60° T	80° W	35°	35°
	●	●	●	●	●●	●		
		●●			●		●	
		●	●		●	●		

注：●● — 推荐的刀具类型　●—可选

图 4-17　加工工序与刀片选择

可作为前刀面使用，使实际可用切削刃数（刀角数）增大一倍，如菱形刀片可使用四个切削刃，T 形、S 形分别可使用六与八个切削刃，经济性好。法后角为正值的刀片可形成较大的前角，大多用于加工铝材、铜材等刚性较低的材料或内圆镗孔、仿形加工等。

4.3.4　精度选择

刀片的精度见表 2-17，具有 A、F、C、H、E、G、J、K、L、M、N、U 数种，其中 M 级是最常用的，应优先选用。A 级到 J 级刀片经过研磨，精度较高。刀片精度要求较高时，常选用 G 级。小型精密刀具的刀片，可选用 E 级或更高级别。

4.3.5　刀片夹固形式与有无断屑槽的选择

刀片夹固形式主要表示刀片有孔还是无孔，是双面有孔有倒角还是单面有孔有倒角，倒角大小为多少，有无断屑槽等。各制造厂商在许多基本符号上，其代表的内容大致都是一样的，如 N 代表无孔无断屑槽。R、F 也为无孔，但 R 表示为单面断屑槽，F 为双面断屑槽。G、M、A、W、T、C 等也常用，它们均有孔。无孔的只能用压板夹固，有孔的可用螺钉或孔内杠杆等夹固，它们分别结构形式见表 2-18。

一般双面刀片上下面均有断屑槽，上下面切削刃刀角均可用，经济性好，但适用于轻负荷。单面刀片可适用于较重负荷。无断屑槽刀片适用于铸铁粗加工，因刃部强度大、支承面大，可在恶劣的条件下稳定切削。

4.3.6　刀片尺寸大小与厚度的选择

各种刀片尺寸大小是以其内接圆直径大小与刃长来表示的。一般以最大背吃刀量的大小来选择，以常用的 C 型刀片为例，最大背吃刀量在 5mm 以下，常选内接圆直径为 12.7mm 的刀片为宜。通常选刃长较长的，以适用多种背吃刀量加工，使其综合成本较低。图 4-18 所示为不同切削深度下刀片尺寸选择。

刀片厚度大，可承受切削负荷大。实际切削时，刀片不可能用到它的全长，而是用到其有效长度，确定有效长度同时应考虑主偏角 κ_r 与背吃刀量 α_p 的大小。有效长度可由表 4-10 确定。

有效长度 l_a 与刀片形状、断屑槽有效利用等也有关。图 4-19 所示为各种刀片在主偏角为 90°粗加工时的有效长度。若背吃刀量超过此值，应选更大尺寸的刀片。

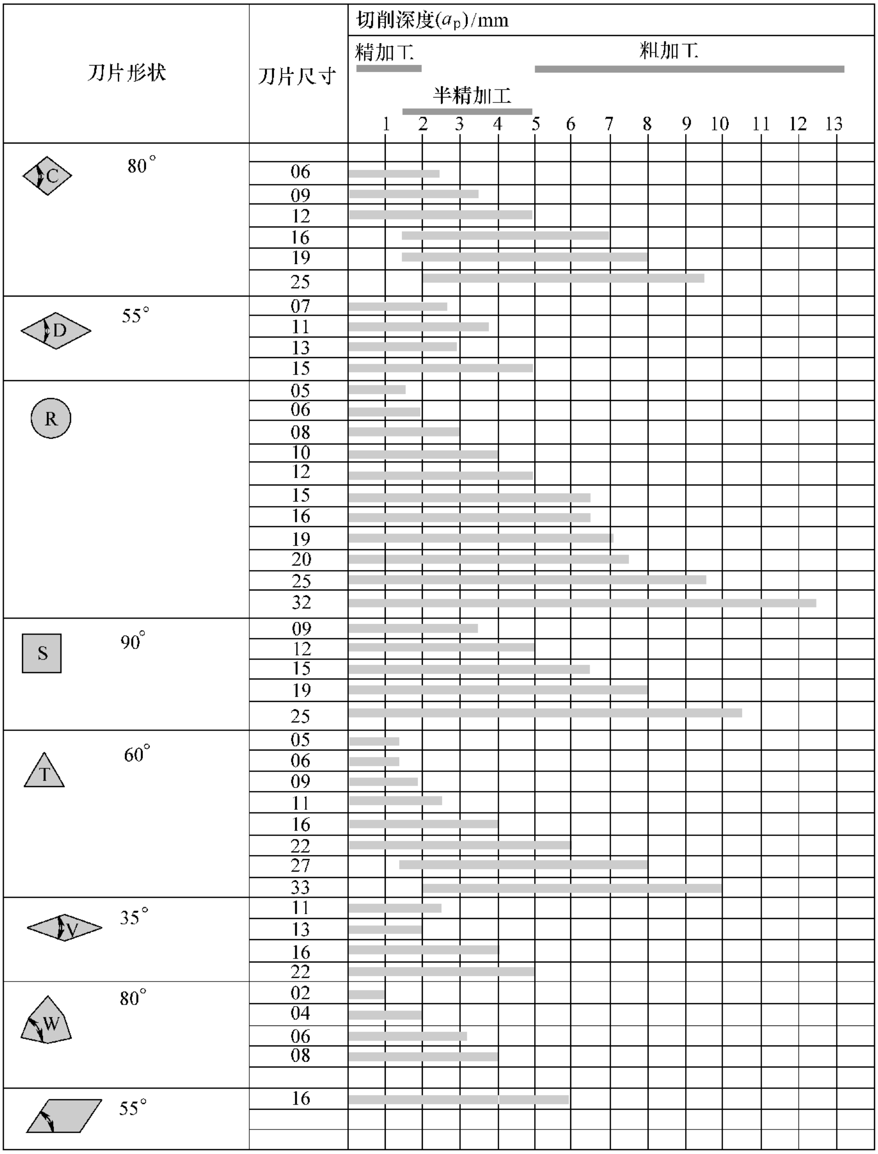
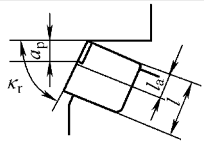


图 4-18　不同切削深度下刀片尺寸选择

表 4-10　刀片有效长度



κ_r (°) \ a_p/mm		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
	90	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
105	75	1.5	2.1	3.1	4.1	5.2	6.2	7.3	8.3	9.3	11	16
120	60	1.2	2.3	3.5	4.7	5.8	7	8.2	9.3	11	12	18
135	45	1.4	2.9	4.3	5.7	7.1	8.5	10	12	13	15	22
150	30	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
165	15	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	58

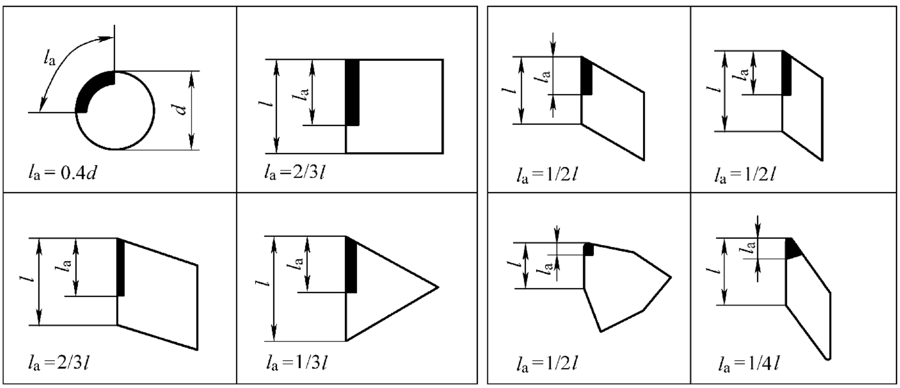


图 4-19　刀片形状与有效长度

4.3.7　断屑槽的选择

断屑槽的功能是使切屑适度卷曲、适当长度碎断，以便及时排出；其次在切削过程中形成正前角使切削力减小，切削热减低，使切削变得容易从而实现高效高质量加工。

断屑槽结构设计包括棱刃（边）、凹槽、后凸台、后壁等。实际加工中后角为零的刀具必然与加工表面产生剧烈的摩擦，会致使切削难以进行下去，刀柄上刀片槽形状必须使刀片安装后，后方抬起形成正后角，但前角就会变成负值，负

前角刀头强度大，但极不锋利，切削力、热功率消耗大，不易保证高的加工质量，一般只用于加工高硬度钢、断续切削、粗加工等，适用范围窄。但若在刀片前刀面上制出多种多样断屑凹槽让它切削加工中形成实际正前角，同时不同宽度与角度的棱刃，可保护不同切削条件下的刀刃以到达相应的锋利性，这样可使刀片适用不同材料粗加工、半精加工，又适用精加工，扩大了刀片的使用范围。所以大的刀具厂家设有专门的断屑槽研究机构，从事实际切削条件下，研究选择最佳断屑槽，并为方便客户提供了许多断屑槽类型，按实际使用不同的背吃量与进给量范围可找到相应的最佳断屑槽。断屑槽代码在刀片标准型号规则已说明，见表 2-22，但各刀具生产厂家又根据实际被加工材料及加工条件编制各自的断屑槽代码，具体见各厂家说明。图 4-20 所示为成都千木刀具公司刀片断屑槽型号编制规则。表 4-11 为部分千木刀具的刀片断屑槽代码和特点。表 4-12 为肯纳刀具不同加工材料刀片断屑槽选择与进给深度、进给率之间关系。

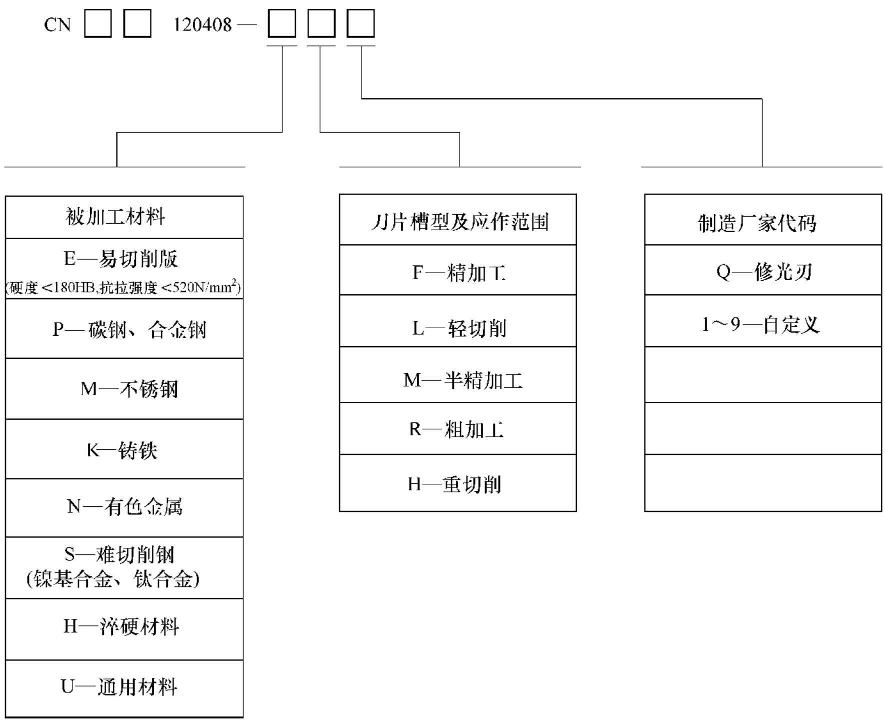
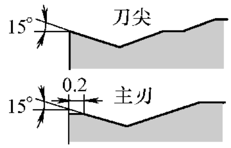
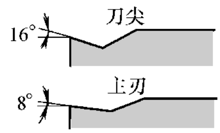
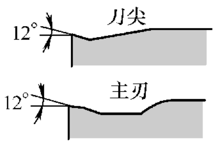
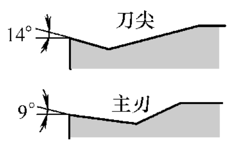
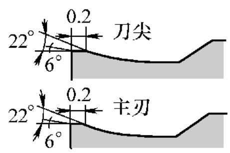
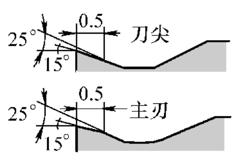
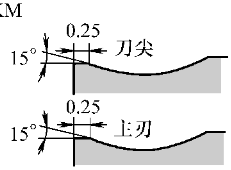
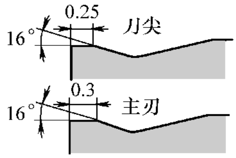
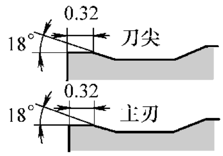
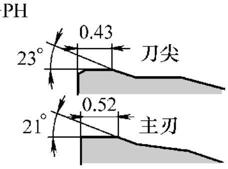
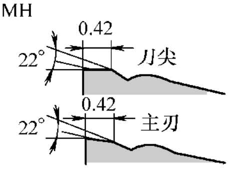
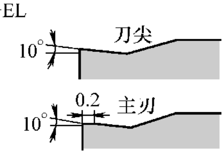
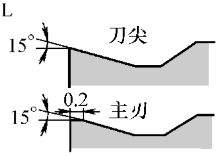


图 4-20　成都千木刀具公司刀片断屑槽型号编制规则

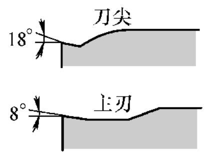
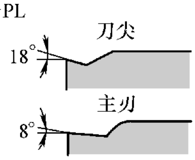
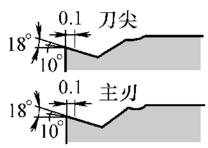
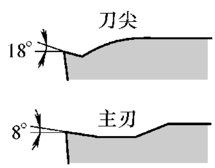
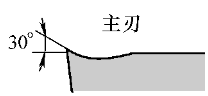
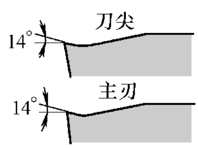
表 4-11　部分千木刀具的刀片断屑槽代码和特点

刀片类别	用途	精度	断屑槽	特点
负前角刀片断屑槽	精车	M	-EF 	易切削钢精加工的首选，能有效控制切屑 使用范围：a_p = 0.2 ~ 0.8mm；f = 0.08 ~ 0.22mm
		M	-EF1 	小切深、低进给条件下易切削钢精加工的次选，切屑处理稳定 使用范围：a_p = 0.2 ~ 0.8mm；f = 0.08 ~ 0.22mm
		M	-PF 	小切深、低进给时碳钢、合金钢、不锈钢精车的首选，具有良好的切屑处理性能 使用范围：a_p = 0.3 ~ 1.0mm；f = 0.08 ~ 0.2mm
		G	-SF 	耐热合金、钛合金等难切削钢精车的首选，曲线形切削刃便于切屑顺利排出 使用范围：a_p = 0.2 ~ 1.0mm；f = 0.07 ~ 0.2mm
	半精车	M	-PM 	正棱边刃形，切削刃锋利，是碳钢、合金钢半精车的首选 使用范围：a_p = 0.8 ~ 4.0mm；f = 0.2 ~ 0.5mm
		M	-MM 	尖锐切削刃，切削刃锋利，是易切削钢、不锈钢、难切削钢半精车的首选 使用范围：a_p = 0.8 ~ 4.0mm；f = 0.2 ~ 0.5mm
		M	-KM 	扁平棱边刃形，切削刃强度高，是铸铁半精车的首选 使用范围：a_p = 0.8 ~ 4.0mm；f = 0.25 ~ 0.6mm

（续）

刀片类别	用途	精度	断屑槽	特点
负前角刀片断屑槽	粗车	M	−ER 	扁平棱边刃形，切削刃强度高，是易切削钢粗车的首选 使用范围：a_p =1.0 ~4.0mm；f =0.2 ~0.55mm
		M	−PR 	适合断续切削、黑皮切削，是碳钢、合金钢粗车的首选 使用范围：a_p =1.5 ~7.0mm；f =0.25 ~0.6mm
	重切削	M	−PH 	刀刃强度高，切屑处理性能好，适合粗车领域的中间切削范围，是碳钢、合金钢重切削的首选 使用范围：a_p =3.0 ~11.0mm；f =0.5 ~1.2mm
		M	−MH 	曲线切削刃使切削力降低，适合粗车领域的最低切削范围，是易切削钢、不锈钢重切削的首选 使用范围：a_p =2.0 ~10.0mm；f =0.4 ~1.2mm
	轻切削	M	−EL 	广泛用于软钢的精－半精车领域，是易切削钢轻切削的首选 使用范围：a_p =0.5 ~1.2mm；f =0.16 ~0.32mm
		M	−PL 	用于硬度 160 ~250HB 的工件材料小切深、高进给的轻切削 使用范围：a_p =0.3 ~2.0mm；f =0.1 ~0.4mm

（续）

刀片类别	用途	精度	断屑槽	特点
5°正前角刀片断屑槽	精车	M	−PF 	用于微切深、微进给的精密加工，切削刃锋利，切削力低，是易切削钢、碳钢、合金钢、不锈钢精车的首选 使用范围：$a_p = 0.2 \sim 0.8$mm；$f = 0.04 \sim 0.2$mm
		G	R/L-PF 	切削刃尖锐，加工表面精度良好，切屑排出导向性较好 使用范围：$a_p = 0.2 \sim 0.6$mm；$f = 0.05 \sim 0.12$mm
	轻切削	M	−PL 	切削锋利，是易切削钢、碳钢、合金钢、不锈钢轻切削的首选 使用范围：$a_p = 0.2 \sim 1.0$mm；$f = 0.05 \sim 0.25$mm
	半精车	M	−UM2 	正棱刃大前角，切削锋利，是易切削钢、碳钢、合金钢、不锈钢半精车的首选 使用范围：$a_p = 0.4 \sim 2.0$mm；$f = 0.07 \sim 0.3$mm
7°正前角刀片断屑槽	精车	M	−PF 	适用于微切深、微进给的精密加工，切削刃锋利，切削力低，是易切削钢、碳钢、合金钢、不锈钢精车的首选 使用范围：$a_p = 0.2 \sim 0.8$mm；$f = 0.04 \sim 0.2$mm
		G	−NF 	大前角与曲面切削刃相结合，切削锋利。刀片镜面设计，提高耐粘结性，是有色金属精车的首选 使用范围：$a_p = 0.2 \sim 3.0$mm；$f = 0.1 \sim 0.4$mm
		G	−SF 	曲线形切削刃设计，使切屑排出流畅，最适合加工耐热合金、钛合金，是难切削钢精车的首选 使用范围：$a_p = 0.2 \sim 1.4$mm；$f = 0.04 \sim 0.12$mm

（续）

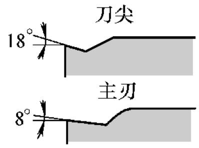
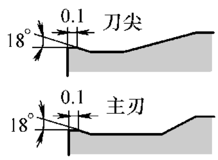
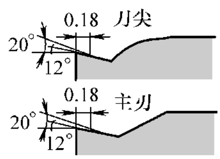
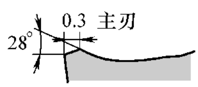
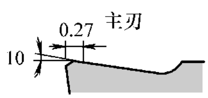
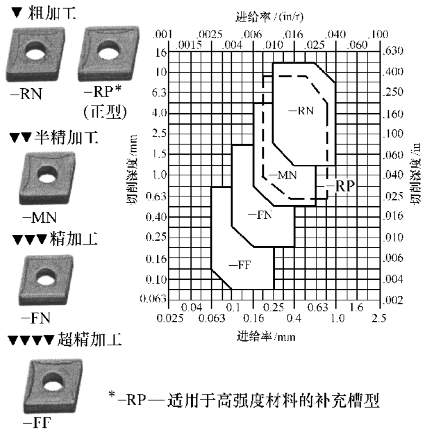
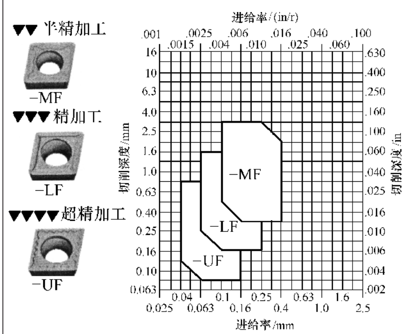
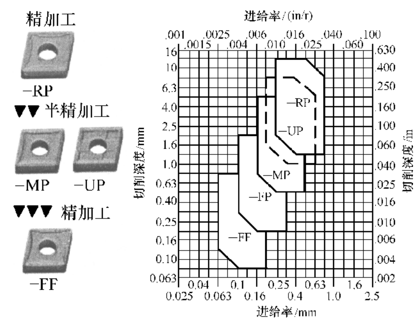
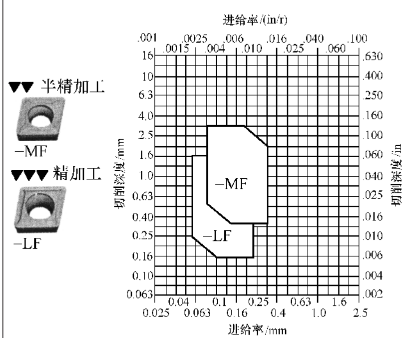
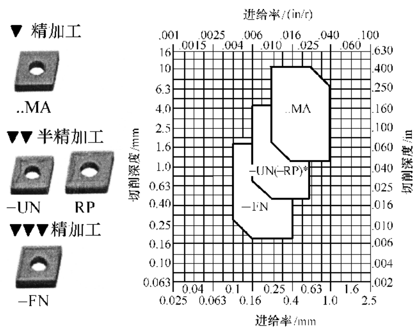
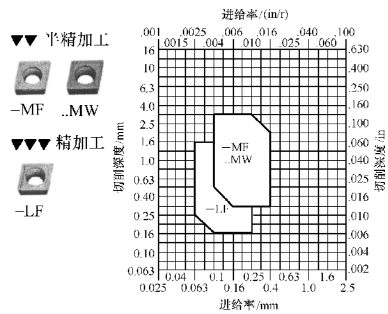
刀片类别	用途	精度	断屑槽	特点
7°正前角刀片断屑槽	轻切削	M	-PL  	大前角，切削锋利，是易切削钢、碳钢、合金钢、不锈钢轻切削的首选 使用范围：a_p = 0. 2 ~ 1. 0mm；f = 0. 05 ~ 0. 25mm
	半精车	M	-UM1  	扁平棱边与大前角组合，确保刀刃强度与切削锋利性，是易切削钢、碳钢、合金钢、不锈钢半精车的首选 使用范围：a_p = 0. 4 ~ 2. 0mm；f = 0. 08 ~ 0. 3mm
		M	-UM2  	正棱刃大前角，切削锋利，是易切削钢、碳钢、合金钢、不锈钢半精车的次选 使用范围：a_p = 0. 4 ~ 2. 0mm；f = 0. 07 ~ 0. 3mm
	铸铁粗车用	M	无  	平顶，刀刃强度高，最适合断续切削等不稳定切削，是铸铁粗车的首选 使用范围：a_p = 0. 3 ~ 2. 0mm；f = 0. 08 ~ 0. 3mm
	重切削	M	-PH  	大断屑槽设计，防止大切削深度加工时切屑堵塞，是碳钢、合金钢重切削的首选 使用范围：a_p = 3. 0 ~ 10. 0mm；f = 0. 3 ~ 1. 3mm
		M	-MH  	大倒棱提高切削刃强度，大断屑槽与大角度断屑槽壁设计加大了对切屑控制，是易切削钢、不锈钢重切削的首选 使用范围：a_p = 3. 0 ~ 10. 0mm；f = 0. 3 ~ 1. 0mm

表4-12　肯纳刀具不同加工材料刀片断屑槽选择与进给深度、进给率之间关系

<table>
<tr><th>工件材料</th><th>负角刀片</th><th>正角刀片</th></tr>
<tr><td>碳钢、合金钢和工具钢，硬度48HRC</td><td>

*-RP—适用于高强度材料的补充槽型</td><td>
</td></tr>
<tr><td>不锈钢</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>灰口铸铁和球墨铸铁</td><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

4.3.8　选择可靠的刀片夹紧结构

为保证可转位车刀正常工作，刀片的夹紧结构应满足下列要求：刀片在刀槽中的定位精度高，转位或更换刀片后不影响对刀尺寸；夹紧牢固可靠，在切削力的冲击与振动下，刀片不会松动移位；刀片的松开、转位或更换及夹紧等操作要简便快捷，这对于自动线刀具尤为重要。夹紧结构力求简单、紧凑，这不仅制造容易，还可提高刀具刚性。夹紧元件应满足标准化、系列化和通用化的要求。车削刀片典型夹紧方式见表 2-25。

第 5 章　数控铣削刀具

5.1　概述

铣刀是一种在回转体表面上或端面上分布有多个刀齿的多刃刀具，每一个刀齿相当于一把车刀，铣刀的刀齿参数如图 5-1 所示。因此，铣削是断续切削，采用铣刀加工工件，生产效率高。铣刀种类较多，其中立式、卧式数控铣床和加工中心上最常用的铣刀有平面铣刀、立铣刀、键槽铣刀和球头铣刀等。此外，一些常用于普通铣床上的铣刀，也可用于数控铣削加工。

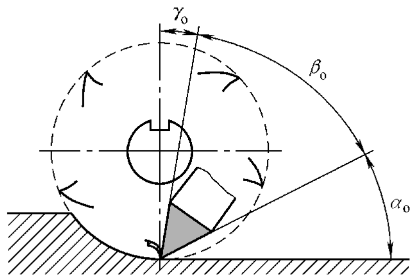


图 5-1　铣刀的刀齿参数

5.1.1　铣刀的种类和用途

铣刀的类型按刀齿结构可分为尖齿铣刀和铲齿铣刀。按刀齿和铣刀的轴线的相对位置可分为圆柱形铣刀、角度铣刀、面铣刀、成形铣刀等。按刀齿形状可分为直齿铣刀、螺旋齿铣刀、角形齿铣刀、曲线齿铣刀。按刀具结构可分为整体铣刀、组合铣刀、成组或成套铣刀、镶齿铣刀、机夹焊接铣刀、可转位铣刀等。但通常还是以切削刀齿被加工形式来分。

1. 尖齿铣刀

尖齿铣刀可分为下列种类：

（1）面铣刀　有整体面铣刀、镶齿面铣刀、机夹可转位面铣刀等，用于粗、半精、精加工各种平面、台阶面等。

（2）立铣刀　用于铣削台阶面、侧面、沟槽、凹槽、工件上各种形状的孔及内外曲线表面等。

（3）键槽铣刀　用于铣削键槽等。

（4）槽铣刀和锯片铣刀　用于铣削各种槽、侧面、台阶面及锯断等。

（5）专用槽铣刀　用于铣削各种特殊槽形，有 T 形槽铣刀、半月键槽铣刀、燕尾槽铣刀等。

（6）角度铣刀　用于铣削刀具的直槽、螺旋槽等。

（7）模具铣刀　用于铣削各种模具的凸、凹成形面等。

（8）成组铣刀　将数把铣刀组合成一组铣刀，用于铣削复杂的成形面、大型零件不同部位的表面和宽平面等。

2. 铲齿铣刀

铲齿铣刀的特点是齿背经铲制而成，铣刀用钝后仅刃磨前面，易于保持切削刃原有的形状，因此适用于切削廓形复杂的工件，如成形铣刀。

5.1.2　铣刀的几何参数

铣刀的种类、形状虽多，但都可以归纳为圆柱铣刀和面铣刀两种基本形式，每个刀齿可以看做是一把简单的车刀，所不同的是铣刀是回转的、刀齿较多。因此只通过对一个刀齿的分析，就可以了解整个铣刀的几何角度。

1. 圆柱形铣刀的几何角度

与车刀相似，由坐标平面和测量平面组成，其基本坐标平面有基面和切削平面。其中基面是通过切削刃选定点并包含铣刀轴线的平面，并假定与主运动方向垂直。切削平面是通过切削刃选定点的圆柱切平面。测量平面有端剖面，螺旋齿铣刀还有法剖面。圆柱铣刀的几何角度如图 5-2 所示。

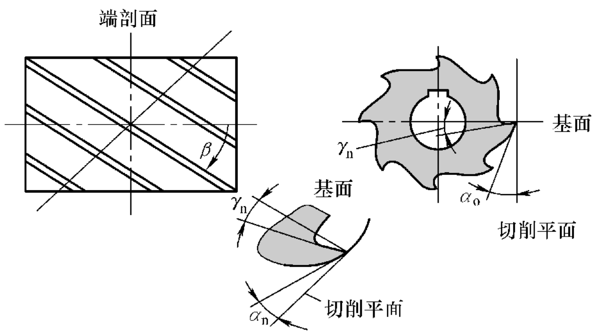


图 5-2　圆柱铣刀的几何角度

（1）前角 γ_o　过切削刃上选定点在端剖面上测量的前面与基面的夹角。

（2）后角 α_o　过切削刃上选定点在端剖面上测量的后面与切削平面间的夹角。

前角和后角都标注在端剖面上。若是螺旋齿，还要标注螺旋角 β 、法前角 γ_n 和法后角 α_n 三个参数。

（3）法前角 γ_n　过切削刃上选定点在法剖面上测量的前面与基面的夹角。

（4）法后角 α_n　过切削刃上选定点在法剖面上测量的后面与切削平面间的

夹角。

前角 γ_o 和法前角 γ_n 两者的关系为

$$\tan \gamma_n = \tan \gamma_o \cos \beta$$

式中　β——铣刀的螺旋角，即相当于圆柱铣刀的刃倾角 λ_s。

圆柱铣刀的主偏角为 90°，无副偏角。

2. 面铣刀的主要几何角度标注

面铣刀的一个刀齿相当于一把小车刀，其几何角度基本与外圆车刀相类似，所不同的是铣刀每齿基面只有一个，即以刀尖和铣刀轴线共同确定的平面为基面。因此面铣刀每个刀齿都有前角、后角、主偏角和刃倾角四个基本角度。面铣刀的前角又分为轴向前角和径向前角，面铣刀标注角度如图 5-3 所示。轴向前角、径向前角、主偏角、前角、刃倾角对面铣刀铣削效果影响较大，见表 5-1。

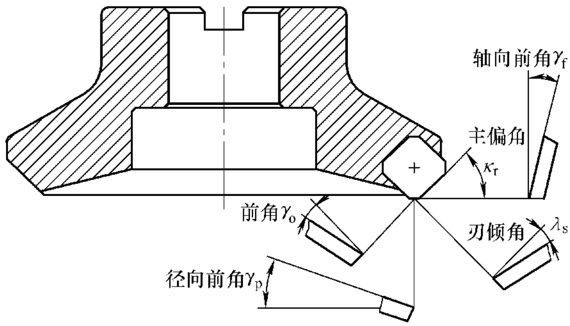


图 5-3　面铣刀标注角度

表 5-1　面铣刀各角度对铣削效果影响

名称	作用	效果		
轴向前角 γ_f	决定排屑方向	角度为负：排屑性能好		
径向前角 γ_p	决定切削轻快与否	角度为正：排屑性能好		
主偏角 κ_r	决定切屑厚度	κ_r↑，切屑厚度↑；κ_r↓，切屑厚度↓		
前角 γ_o	决定切削轻快与否	切削性能差 切削刃强度高	（－）←0→（＋）	切削性能好 切削刃强度低
刃倾角 λ_S	决定排屑方向	切削性能差 切削刃强度高	（－）←0→（＋）	切削性能好 切削刃强度低

3. 铣削要素

铣刀种类繁多，但从铣削原理看又可以分为端铣和周铣两类，其典型刀具是面铣刀和圆柱平面铣刀。铣削用量包括下列四个要素，如图 5-4 所示。

（1）铣削速度 v_c（m/min）　铣削速度是指铣刀旋转时的线速度，计算公式见式（2-1）。

（2）进给量　铣削时的进给量有三种表示方法。

1）每转进给量 f（mm/r）　它是指铣刀每转一转时，工件相对于铣刀沿进给方向移动的距离。

2）每齿进给量 f_z（mm）　它是指铣刀每转过一个齿的角度时，工件相对于铣刀沿进给方向移动的距离。

3）进给速度 v_f（mm/min）　它是指每分钟工件相对于铣刀沿进给方向移动的距离。也就是铣床工作台的进给速度。

三种进给量之间的关系：$v_f = fn = f_z zn$

式中　n——铣刀转速，单位为 r/min 或 r/s；

　　z——铣刀齿数。

每齿进给量根据刀齿的强度、切削层厚度、容屑情况进行选择。每转进给量与已加工表面粗糙度关系密切，精铣和半精铣时按每转进给量进行选择。由于数控铣床主运动和进给运动是由两个伺服电动机分别传动，它们之间没有内部联系。无论按每齿进给量 f_z，还是按每转进给量 f 选择，最后均得计算出进给速度 v_f。

（3）背吃刀量 a_p（mm）　如图 5-4 所示，它是平行于铣刀轴线方向度量的切削层尺寸。端铣时，a_p 为切削层深度；而圆周铣削时，a_p 为被加工表面的宽度。

（4）侧吃刀量 a_e（mm）　它是垂直于铣刀轴线方向和进给方向度量的切削层尺寸。端铣时，a_e 为被加工表面宽度；而圆周铣削时，a_e 为切削层的深度。

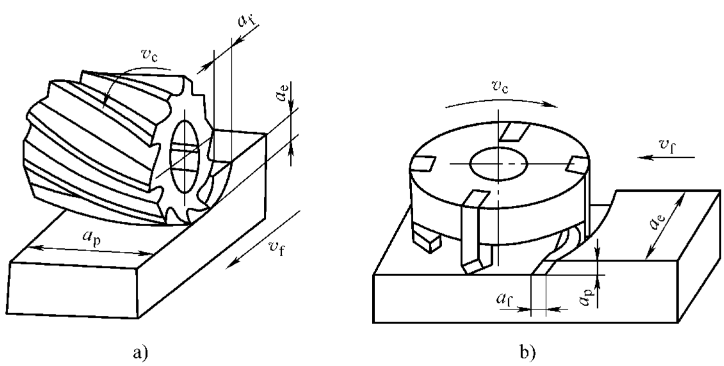


图 5-4　铣削用量四要素
a）圆周铣削　b）端铣

4. 铣削层参数

圆柱铣刀和面铣刀加工时切削层的形状如图 5-5 所示。

切削层厚度 h_D 是在基面内测量的相邻两个刀齿主切削刃运动轨迹之间的距

离。圆周铣削和端面铣削的切削层厚度计算公式为

圆周铣削　$$h_D = f_z \sin\varphi \tag{5-1}$$

端铣　$$h_D = f_z \cos\varphi \sin\kappa_r \tag{5-2}$$

式中　κ_r——主偏角（°）；

　　φ——刀齿回转位置角（°）。

从式（5-1）、式（5-2）可以看出，铣削时切削层厚度 h_D 是随刀齿回转位置角 φ，即刀齿位置的不同而变化的。圆周铣削时，刀齿在起始位置 H 点时，$h_D = 0$，为最小值；刀齿即将离开工件到达 A 点时，切削层厚度最大。端铣时，切削层厚度在刀齿刚切入工件时最小，中间位置最大，然后又逐渐减小。由于切削层厚度的不断变化，因此铣削加工过程切削力的波动比车削加工要大一些。

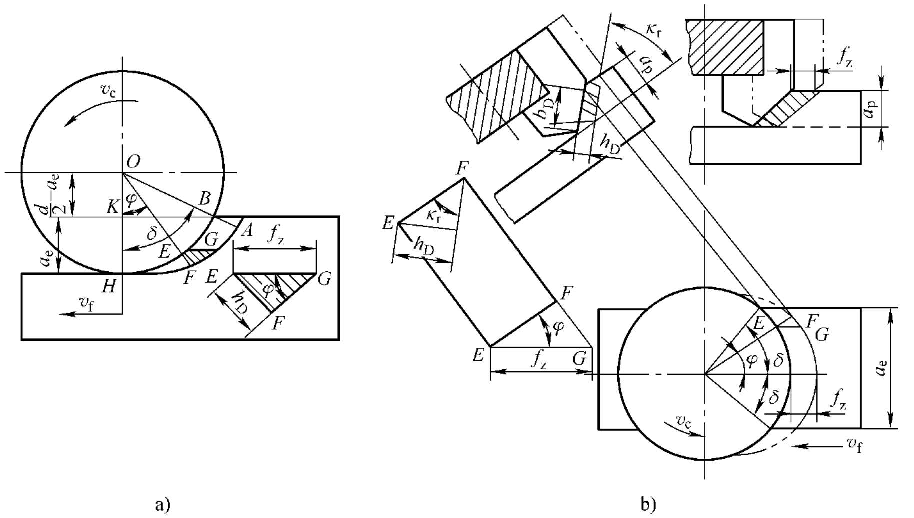


图 5-5　加工时切削层的形状

a）圆周铣削　b）端铣

5. 铣削方式

（1）圆周铣削方式　圆周铣削有两种铣削方式：逆铣和顺铣。

如图 5-6a 所示，铣刀的旋转方向和工件的进给方向相反时称为逆铣，相同时称为顺铣，如图 5-6b 所示。逆铣时，切削厚度从零逐渐增大。铣刀刃口有一钝圆半径 r_n，造成开始切削时前角为负值，刀齿在过渡表面上挤压、滑行，使工件表面产生严重冷硬层，并加剧了刀齿磨损。此外，当瞬时接触角大于一定数值后，进给力垂直分力向上，有抬起工件趋势。顺铣时，刀齿的切削厚度从最大开始，避免了挤压、滑行现象；并且进给力垂直分力始终压向工作台，有利于工件夹紧，可提高铣刀寿命和加工表面质量。

若在丝杠与螺母副中存在间隙情况下采用顺铣，当进给力 F_f，逐渐增大，超过工作台摩擦力时，使工作台带动丝杆向左窜动，造成进给不均匀，严重时会使铣刀崩刃。逆铣时，由于进给力 F_f 作用，使丝杠与螺母传动面始终贴紧，故铣削过程较平稳。

（2）端铣方式　端铣时，根据面铣刀相对于工件安装位置不同，也可分为逆铣和顺铣。如图 5-7a 所示，面铣刀轴线位于铣削弧长的中心位置，上面的顺铣部分等于下面的逆铣部分，称为对称端铣。图 5-7b 中的逆铣部分大于顺铣部分，称为不对称逆铣。图 5-7c 中的顺铣部分大于逆铣部分称为不对称顺铣。图中切入角 δ 与切离角 δ_1 ，凡位于逆铣一侧为正值，而位于顺铣一侧为负值。

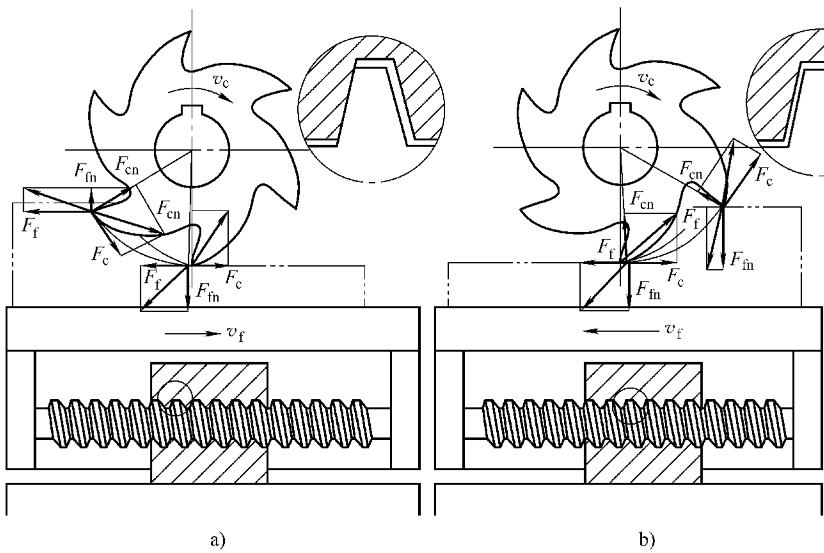


图 5-6　逆铣与顺铣
a）逆铣　b）顺铣

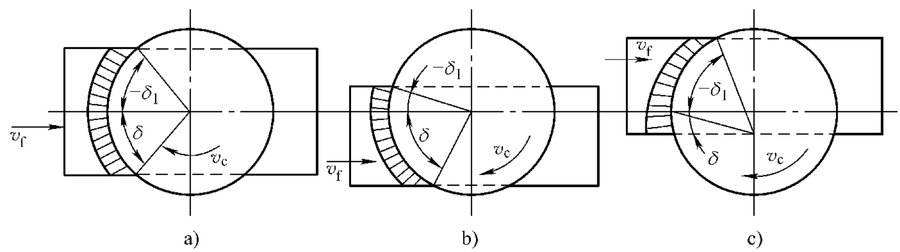


图 5-7　端铣时的顺铣与逆铣
a）对称端铣　b）不对称逆铣　c）不对称顺铣

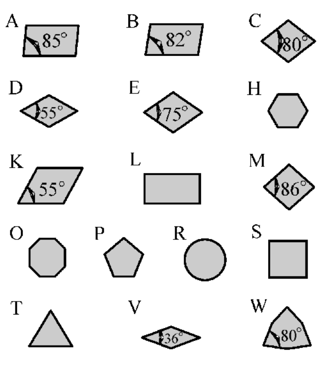
5.2　数控加工中常用铣刀及代码

5.2.1　数控可转位铣刀刀片及铣刀代码

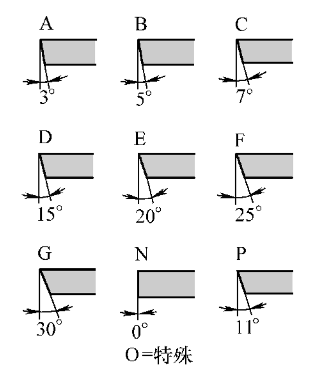
GB/T 2076—2007 规定了可转位刀片型号表示规则。可转位铣刀刀片的 ISO 代码与可转位车刀刀片类似，按标准规定用 10 个号位的字母和数字代号，按一定顺序排列组成刀片型号。可转位铣刀刀片常用前 9 个号位的字母和数字代号表示，第 10 号位为不同制造商选择代号。图 5-8 所示为山高刀片牌号说明，第 10 号位为刀片加工工况内部标识。

0	F	E	R	07	04	05	T	N	–	ME15
1	2	3	4	5	6	7	8	9		10

1. 形状



2. 后角



3. 公差

公差等级	公差+/−mm			内切圆d，尺寸mm									
	m	s	d	3.175	4.76	6.35	9.525	12.7	15.875	19.05	25.4	31.75	36.1
A	0.005	0.025	0.025	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
E	0.025	0.025	0.025	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
F	0.005	0.025	0.013	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
G	0.025	0.13	0.025	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
H	0.013	0.025	0.013	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
J	0.005	0.025	0.05	•	•	•	•						
	0.005	0.025	0.08					•					
	0.005	0.025	0.10						•	•			
	0.005	0.025	0.13								•		
	0.005	0.025	0.15									•	•
K	0.013	0.025	0.05	•	•	•	•						
	0.013	0.025	0.08					•					
	0.013	0.025	0.10						•	•			
	0.013	0.025	0.13								•		
	0.013	0.025	0.15									•	•
M	0.08	0.13	0.05	•	•	•	•						
	0.13	0.13	0.08					•					
	0.15	0.13	0.10						•	•			
	0.18	0.13	0.13								•		
	0.20	0.13	0.15									•	•
U	0.13	0.13	0.08	•	•	•	•						
	0.20	0.13	0.13					•					
	0.27	0.13	0.18						•	•			
	0.38	0.13	0.25								•	•	•

图 5-8　可转位刀片的代号

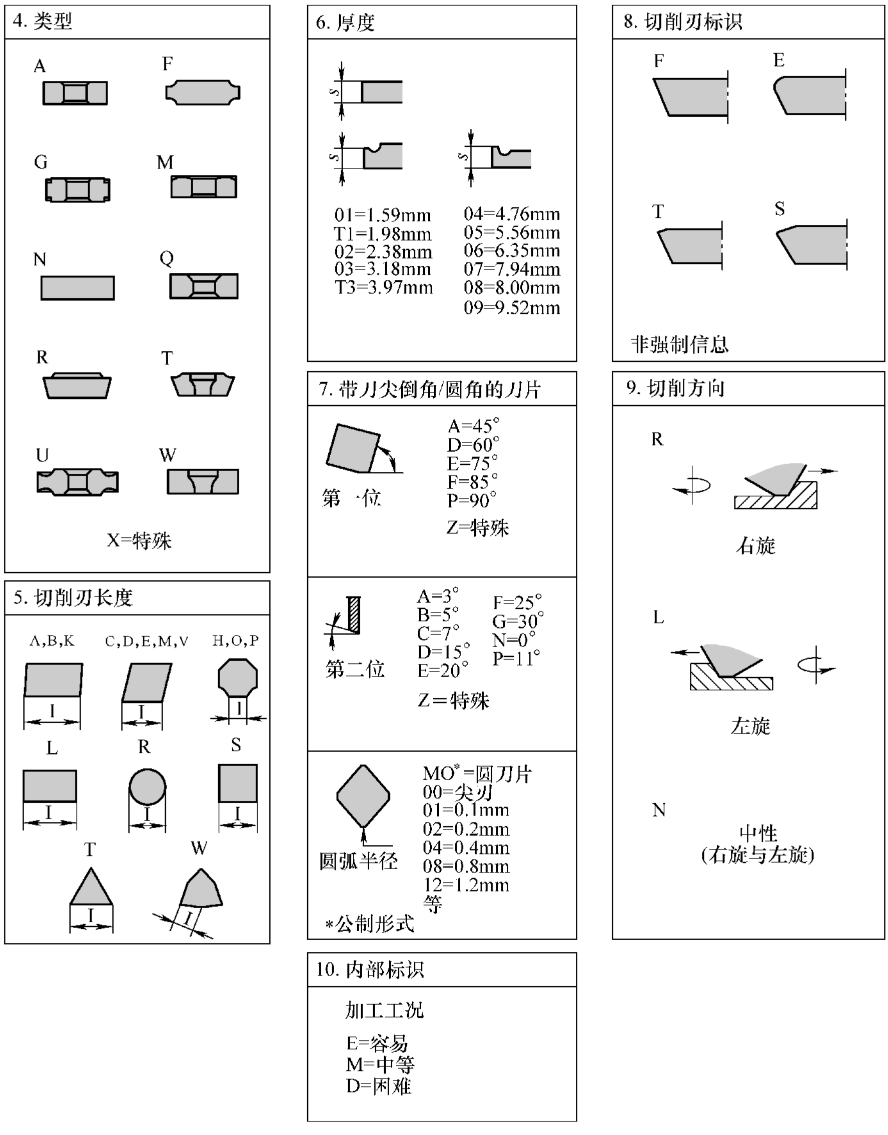


图 5-8　可转位刀片的代号（续）

目前数控可转位铣刀的代码还没有统一规定，各个厂家对数控可转位铣刀的代码都有自己规定。图 5-9 所示为成都千木数控刀具生产厂家对可转位铣刀牌号规定。规定用 14 个号位的字母和数字代号按一定顺序排列。1 号位表示刀片压紧方式；2 号位表示铣刀形式；3 号位表示主偏角；4 号位短线；5 号位表示直径；6 号位表示刀具旋向；7 号位表示刀具齿数；8 号位表示刀片形状；9 号位表示刀片后角；10 号位表示切削刃长度；11 号位短线；12 号位表示刀具接口形式；13 号位表示刀具接口尺寸；14 号位表示刀具加工对象。

S	A	90	–	80	R	5	T	E	16	–	P	27	AL
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

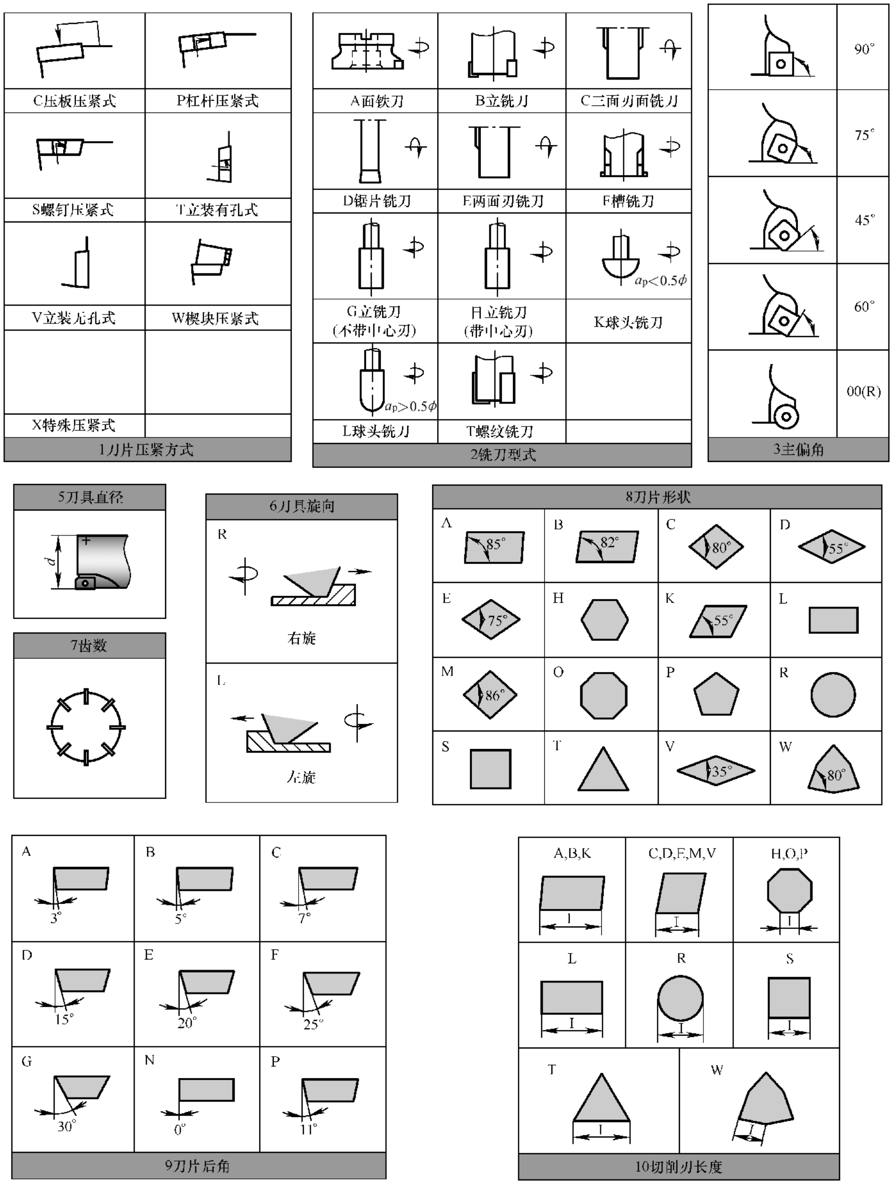


图 5-9　千木刀具可转位铣刀代码

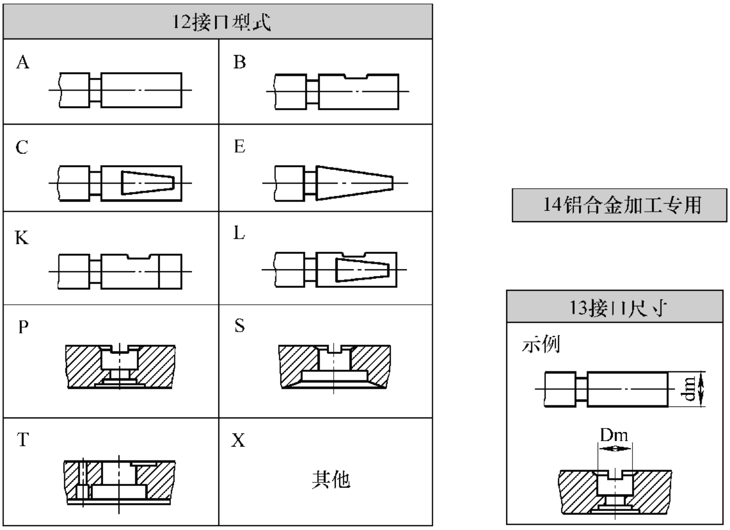


图 5-9　千木刀具可转位铣刀代码（续）

5.2.2　面铣刀

如图 5-10 所示，面铣刀圆周方向切削刃为主切削刃，端部切削刃为副切削刃，可用于立式铣床或卧式铣床上加工台阶面和平面，生产率较高。面铣刀多制成套式镶齿结构，刀齿为高速钢或硬质合金，刀体为 40Cr。高速钢面铣刀按国家标准规定，直径 $d=80\sim250\text{mm}$，螺旋角 $\beta=10°$，刀齿数 $z=10\sim26$。

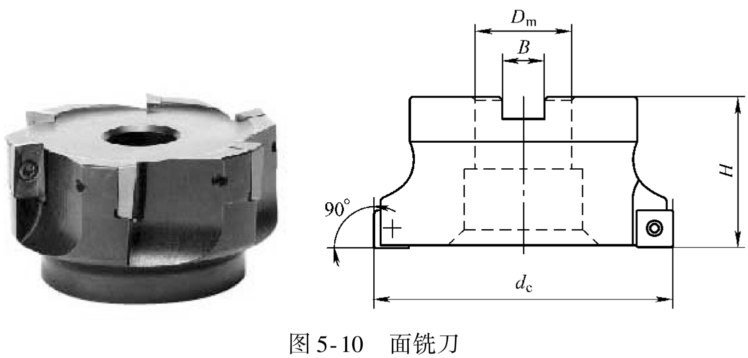
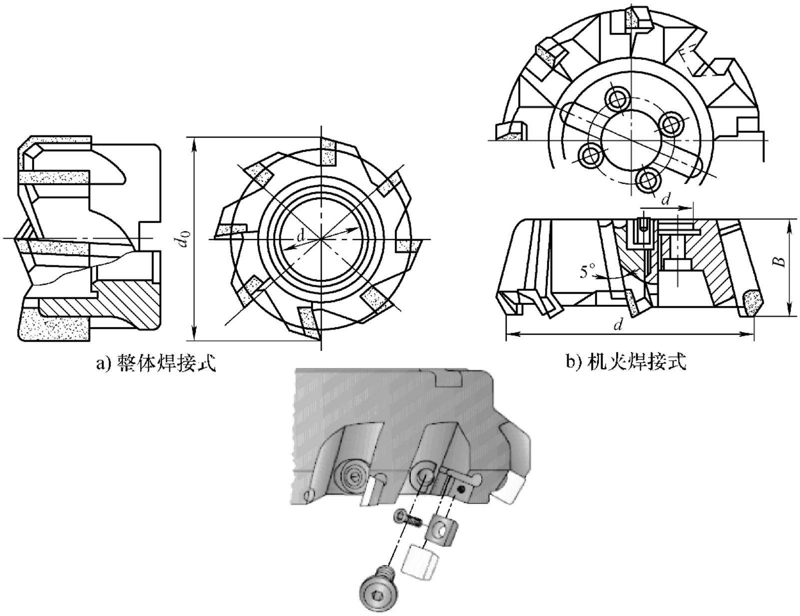


图 5-10　面铣刀

硬质合金面铣刀的铣削速度、加工效率和工件表面质量均高于高速钢铣刀，并可加工带有硬皮和淬硬层的工件，因而在数控加工中得到了广泛的应用。图 5-11 所示为常用硬质合金面铣刀的种类。整体焊接式面铣刀（见图 5-11a）是将硬质合金刀片焊接在刀体上，结构紧凑，较易制造。但刀齿磨损后整把刀将报废，故已较少使用。机夹焊接式面铣刀（见图 5-11b）是将硬质合金刀片焊接在小刀头上，再采用机械夹固的方法将刀装夹在刀体槽中。刀头报废后可换上新刀

头，因此延长了刀体的使用寿命。由于整体焊接式和机夹焊接式面铣刀难于保证焊接质量，刀具耐用度低，重磨较费时，目前已被可转位式面铣刀所取代。



a) 整体焊接式　b) 机夹焊接式　c) 机夹可转位式

图 5-11　常用硬质合金面铣刀的种类

1. 常见硬质合金可转位面铣刀的类型

常用硬质合金可转位面铣刀的类型见表 5-2。

表 5-2　常见硬质合金可转位面铣刀

划分方法	品种	简 要 说 明
按主偏角划分	90°	主要用于加工带直角台阶的平面
	75°	一般平面铣削加工
	60°	
	45°	因其可适当减少侧向力，从而避免铣刀切出时损伤被加工表面的边缘，主要用于加工铸铁等脆性材料
按齿数分 ϕ200mm 以上	粗齿	主要用于粗加工或半精加工以及实体加工
	中齿	
	细齿	主要用于半精加工和精加工以及箱体零件加工
	密齿	
按前角分（γ_p、γ_f 组合）	双正前角	$\gamma_p>0°$，$\gamma_f>0°$，适用于软钢、合金钢、有色金属加工
	双负前角	$\gamma_p<0°$，$\gamma_f<0°$，适用于销钢、铸铁等加工
	正负前角	$\gamma_p>0°$，$\gamma_f<0°$，适用于钢、合金钢、铸铁等加工

（续）

划分方法	品种	简 要 说 明
按刀齿分布分	等齿距面铣刀	各刀齿在圆周上均匀分布
	不等齿距面铣刀	各刀齿在圆周上非均匀分布，利用相邻各齿切入切出的周期不同来减缓等齿距铣削力周期激振所引起的工艺系统振动，起到消振作用
	阶梯面铣刀	将刀齿分成不同直径的几组，每组刀齿高出端面距离不等，形成分层切削

2. 硬质合金可转位面铣刀的合理使用

（1）铣刀直径与铣削方式　面铣刀直径 d 应按铣削工件表面的宽度（即铣削宽度 a_e）来确定：

$$d=(1.1\sim1.6)a_e$$

为了减少铣刀的规格，面铣刀直径应采用公比为 1.25 的标准系列，即 d = 50mm，63mm，80mm，100mm，125mm，160mm，200mm，250mm，315mm，400mm，500mm，630mm。根据铣削宽度 a_e 确定的直径还应按上述标准数值选取。

为使加工效率最高，铣刀应有 2/3 的直径与工件接触，换而言之，铣刀直径等于被铣削宽度的 1.5 倍。顺铣时，使用这个刀具直径与切削宽度之比，将保证切入工件时有非常适合的角度。如果不能肯定机床是否有足够的功率来维持铣刀在这样的比例下切削，可以把轴向切削厚度分两次或多次完成，而尽可能保持铣刀直径与切削宽度的比值。对铣刀直径和铣削宽度关系的研究结果表明：

1）用很大直径（铣刀直径的大小是相对于铣削宽度 a_e 而言的）的铣刀进行顺铣是最好的方案，如图 5-12a 所示。

2）用直径比铣削宽度稍大的铣刀进行对称铣是次好的方案，如图 5-12b 所示。

3）用大直径铣刀进行对称铣是不好的方案，如图 5-12c 所示。

4）用大直径铣刀进行逆铣是最差的方案，如图 5-12d 所示。

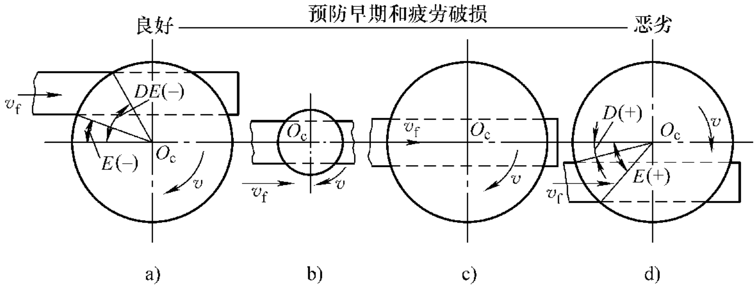


图 5-12　铣刀直径和铣削方式

a）大直径顺铣　b）对称铣　c）大直径对称铣　d）大直径逆铣

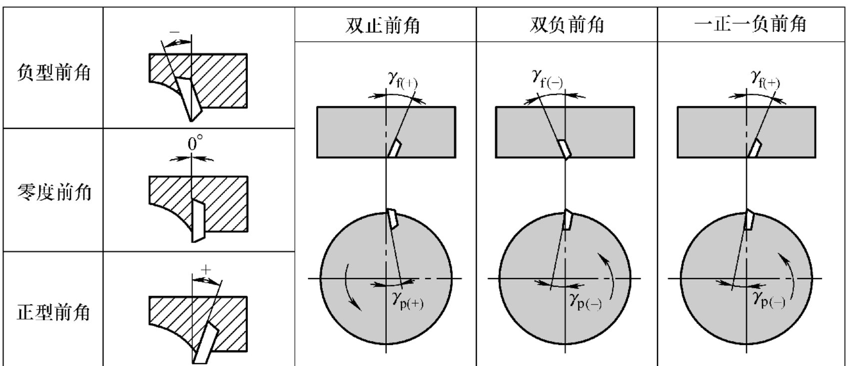
（2）刀片密度的选择　刀片密度是指每英寸直径所含的刀片数。刀片密度的选择主要考虑铣刀有足够的容屑空间，容屑空间太小将导致憋屑，损坏刀刃并可能损坏工件。然而，刀片又应有足够的密度，以保证在切削期间至少有一个刀片在切削。如果不能保证这一点，则会引起剧烈的冲击，这将导致刀刃的破裂、刀具的损坏和机床的超负荷。

可转位面铣刀有粗齿、细齿和密齿三种。粗齿铣刀容屑空间较大，常用于粗铣钢件或者能产生连续切屑的软材料的铣削；粗铣带断续表面的铸件和在平稳条件下铣削钢件时，可选用细齿铣刀。密齿铣刀的每齿进给量较小，主要用于加工薄壁铸件。

（3）刀具角度的选择　刀片切削角度可以相对径向平面和轴向平面定位成正前角、负前角和零前角，如图 5-13 所示。由于零前角会引起整个切削刃同时与工件冲击，故一般不采用。

径向和轴向前角的组合决定了切削角。常用的基本组合包括：径向负前角和轴向负前角；径向正前角和轴向正前角；径向负前角和轴向正前角及径向正前角和轴向负前角。

轴向和径向前角均为负值（下简称“双负”）的刀具习惯上用于铸铁和铸钢的粗加工，但要求机床功率和刚性足够。“双负”的刀片其切削刃强度最好，能经受大切削载荷和相当的切削力。这种由于负的角度而加大的切削力将增加功率的消耗。双负的刀具还需要机床、工件和夹具有更好的刚性。



		双正前角	双负前角	一正一负前角
轴向前角γ_f		+	−	+
径向前角γ_p		+	−	−
适合加工材料	P	√		√
	M	√		√
	K		√	√
	N	√		
	S	√		√

图 5-13　正前角、负前角和零前角

轴向、径向前角均为正（下简称“双正”）的刀具由于增加了切削角，因而切削加工效率最高，虽然强度上不及“双负”刀具，但进刀冲击、切削力却大大降低，对于陈旧、刚性不足及功率有限的机床，这是一种明智的选择。具有“双正”角度的刀片，对于加工有色金属材料、软材料及黏性不锈钢是最佳的选择。

径向负前角和轴向正前角的组合，综合了“双负”和“双正”的优点，负的径向前角提供了切削刃口的强度，而正的轴向前角有利于排屑和防止积屑瘤，同时还可把热量从工件表面和切削刃上带走。而径向正前角和轴向负前角组合，减少了机床功率消耗。

（4）主要几何角度的选择　面铣刀的几何角度是指将刀齿安装到铣刀体上以后所具有的工作角度。表 5-3 列出了硬质合金面铣刀几何角度参考值。

表 5-3　硬质合金面铣刀几何角度参考值

<table>
<tr><th colspan="2">被加工材料</th><th>γ_o</th><th>λ_s</th><th>κ_r</th><th>$\kappa_{r\varepsilon}$</th><th>κ_r'</th><th>α_o</th></tr>
<tr><td rowspan="3">钢</td><td>$\sigma_b < 0.785\text{GPa}$</td><td>5°</td><td rowspan="3">−6° ~ −10°</td><td rowspan="3">60° ~75°</td><td rowspan="4">$\frac{\kappa_r}{2}$</td><td rowspan="4">0° ~5°</td><td rowspan="3">12° ~15°</td></tr>
<tr><td>$\sigma_b = 0.785 \sim 1.177\text{GPa}$</td><td>−10°</td></tr>
<tr><td>$\sigma_b > 1.177\text{GPa}$</td><td>−20°</td></tr>
<tr><td colspan="2">铸铁</td><td>5°</td><td>5°</td><td>45° ~60°</td><td>10° ~12°</td></tr>
</table>

断续切削是铣刀刀齿的工作特点之一。每个刀齿在切入工件时都要发生冲击。改善刀齿切入时的受力状况，提高其抗冲击能力是选择前角 γ_o 及刃倾角 λ_s 所要考虑的重要问题。

1）刃倾角的选择。在通常的情况下，刃倾角 λ_s 应取负值，以增加刀尖强度，提高刀齿的抗冲击能力，一般可取 $\lambda_s = -15° \sim -10°$。但是减小 λ_s 后，会使排屑困难，并使副切削刃有较大的负前角。

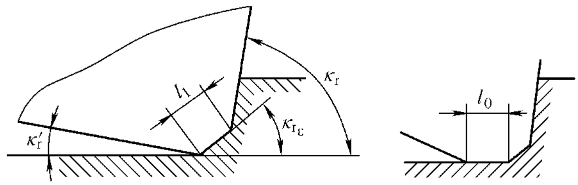
2）前角的选取。前角的选择与车刀基本相同，只是由于铣削时有冲击，故前角数值一般比车刀略小，尤其是硬质合金面铣刀甚至可取较大的负值，以增加刀齿的楔角，增加切削刃的强度。

3）主偏角及过渡刃偏角的选择。主偏角大小对切屑厚度、切削力和刀具寿命有重要影响。如果主偏角 κ_r 小，则切屑厚度小，主切削刃工作的长度长，散热好。但 κ_r 太小时，轴向分力太大，易产生振动。一般选 $\kappa_r = 45° \sim 90°$，表 5-4 给出了三种面铣刀主偏角的特点及应用。为了增加刀尖强度，在刀尖处做成过渡刃偏角 $\kappa_{r\varepsilon} = \kappa_r/2$、$l_1 = 1 \sim 2\text{mm}$ 的过渡刃，如图 5-14a 所示。

4）副偏角、修光刃。选取较小的副偏角 κ_r' 可以降低加工表面粗糙度，一般选 $\kappa_r' = 2° \sim 3°$。也可以使副切削刃有一段 $\kappa_r' = 0°$、$l_0 = 1 \sim 2\text{mm}$ 的修光刃，如图 5-14b 所示。具有修光刃的可转位铣刀刀片已广泛应用。

5）后角的选取。铣刀的磨损主要发生在后面上，因此适当加大后角，可减

少铣刀磨损。常取 $\alpha_o = 5° \sim 12°$，工件材料软时取大值，工件材料硬时取小值；粗齿铣刀取小值，细齿铣刀取大值。

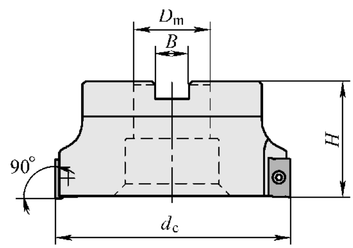
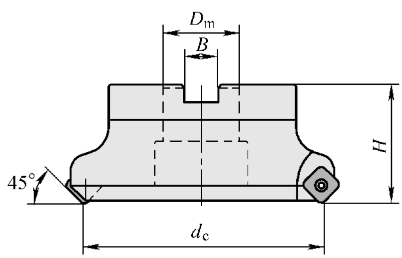
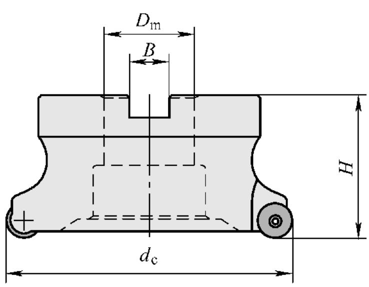


a)　　　　b)

图 5-14　κ_r、$\kappa_{r\varepsilon}$、κ_r'角度

a）过渡刃　b）修光刃

表 5-4　常用面铣刀主偏角的特点及应用

主偏角/简图	特　　点	应　　用
可转位 90°面铣刀  	90°主偏角铣刀切削力主要产生在进给方向上的径向分力，轴向分力压力小。这对于铣削低强度结构或薄壁工件有积极意义	主要用于薄壁零件及装夹较差零件的铣削，也可用于要求获得直角边零件及方肩铣
可转位 45°面铣刀  	45°主偏角铣刀切削力径向和轴向分力大小接近一致，切削平稳，并对机床功率要求相对较小。当以大悬伸或小刀柄刀具铣削时，有减弱振动趋势，在保持中等切削刃负载情况下，其工作台进给范围更大，提高生产率	适用于普通用途的面铣及短切屑材料的铣削
可转位 R 面铣刀  	圆刀片铣刀随切深不同，刀片的主偏角和切削负载均会有所变化。此刀片具有可多次转位的非常坚固的切削刃，具有高工作台进给率功效，是高效且高金属去除率的粗加工刀具	最适用于耐热合金和钛合金加工及大余量、高进给加工

5.2.3　立铣刀

立铣刀是数控机床上用得最多的一种铣刀，其结构如图 5-15 所示，图 5-16 所示为几种典型立铣刀及刀尖形式。立铣刀的圆柱表面和端面上都有切削刃，它们可同时进行切削，也可单独进行切削。主要用于平面铣削、凹槽铣削、台阶面铣削和仿形铣削。近年随着数控机床性能增加，利用立铣刀还可以进行斜坡铣削、螺旋插补铣削、推拉式仿形铣削、等高线铣削等加工，图 5-17 所示为立铣刀加工方式。

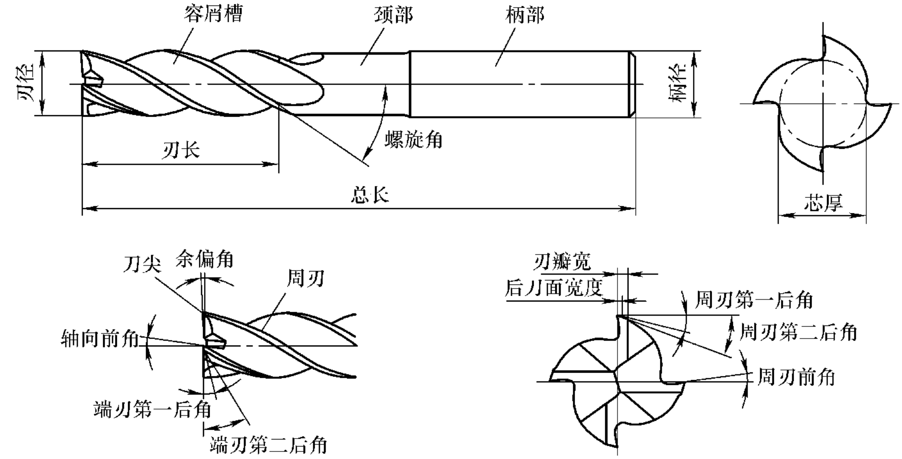


图 5-15　立铣刀结构

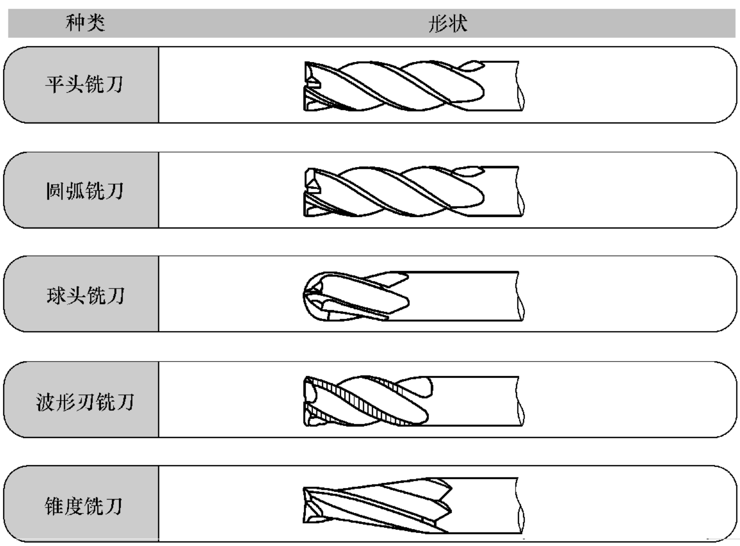


图 5-16　几种典型立铣刀及刀尖形式

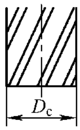
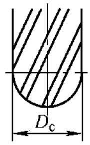
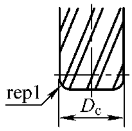
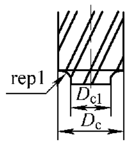
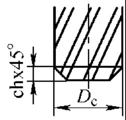
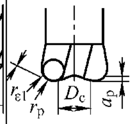
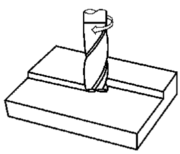
刀尖形状					
锋刃	球头	刀尖圆角	凹圆弧	倒角	高进给
					
S	B	R...	K...	C	H

图 5-16　几种典型立铣刀及刀尖形式（续）

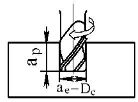
平面铣削：

刀具的端齿啮合以形成平整的表面。
刀具啮合：
a_p 小且 a_e 大。



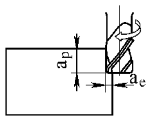
铣槽：

刀具直径完全啮合的加工，a_e 等于 D_c 且 a_p 高达 D_c 的 1.5倍。



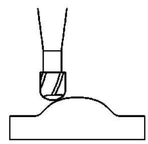
侧铣：

通过刀具侧面的啮合，进行加工。
a_p 大且 a_e 小。



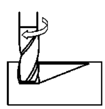
仿形铣削：

刀具的球头部分啮合的加工。
a_p 和 a_e 都很小。



斜坡铣：

以某个角度在Z轴方向进行型腔铣削。



螺旋插补斜坡铣：

在Z轴斜坡铣的同时，刀具作圆周运动进行型腔铣削。

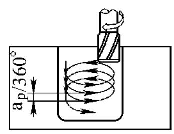


图 5-17　立铣刀加工方式

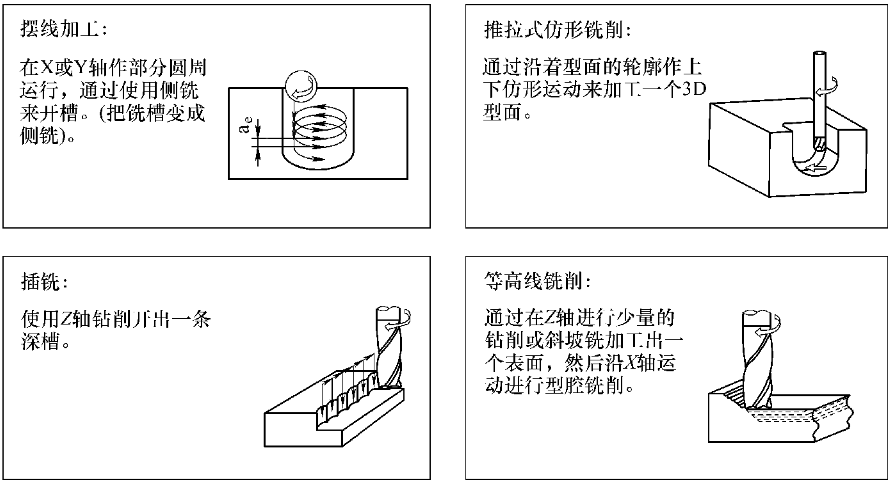
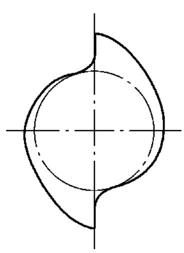
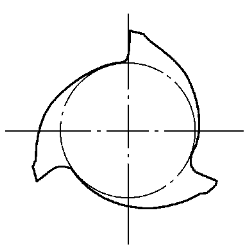
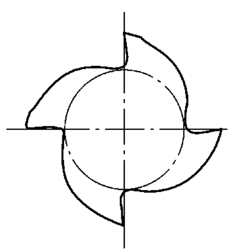


图 5-17　立铣刀加工方式（续）

立铣刀圆柱表面的切削刃为主切削刃，端面上的切削刃为副切削刃。主切削刃一般为螺旋齿，这样可以增加切削平稳性，提高加工精度。由于普通立铣刀端面中心处无切削刃，所以立铣刀不能作轴向进给，端面刃主要用来加工与侧面相垂直的底平面。

为了能加工较深的沟槽，并保证有足够的备磨量，立铣刀的轴向长度一般较长。为改善切屑卷曲情况，增大容屑空间，防止切屑堵塞，刀齿数比较少，容屑槽圆弧半径则较大。一般粗齿立铣刀齿数 $z=3\sim4$，细齿立铣刀齿数 $z=5\sim8$，套式结构 $z=10\sim20$，容屑槽圆弧半径 $r=2\sim5$mm。表 5-5 所示为不同刃数立铣刀特点。

表 5-5　不同刃数立铣刀特点

刃数	两刃	三刃	四刃
横截面形状			
横截面形状所占比例	54%	56%	60%

（续）

刃数		两刃	三刃	四刃
特征	优点	容屑空间大 切屑排出容易	切屑排出容易 表面粗糙度值低	刚性好 表面粗糙度值低
	缺点	刚性差	外径测定较困难	切屑排出不畅
用途		切槽加工 侧面加工 孔加工	切槽加工 侧面加工 重切削 精加工	浅槽加工 侧面加工 精加工

标准立铣刀的螺旋角 β 为 40°～45°（粗齿）和 30°～35°（细齿），套式结构立铣刀的 β 为 15°～25°。直径较小的立铣刀，一般制成带柄形式。ϕ2～71mm 的立铣刀制成直柄；ϕ6～63mm 的立铣刀制成莫氏锥柄；ϕ25～80mm 的立铣刀做成 7∶24 锥柄，内有螺孔用来拉紧刀具。但是由于数控机床要求铣刀能快速自动装卸，故立铣刀柄部形式也有很大不同，一般是由专业厂家按照一定的规范设计制造成统一形式、统一尺寸的刀柄。直径大于 ϕ40～60mm 的立铣刀可做成套式结构。

1. 整体硬质合金立铣刀

整体硬质合金立铣刀是在硬质合金圆棒料上，直接磨出刃形而成。整体硬质合金立铣刀刚性高，精度好，耐磨损，热稳定性好，适用于零部件的精加工。整体硬质合金立铣刀规格一般为 ϕ2～20mm。此外还有刃径为 ϕ0.5～1.5mm 的微型整体硬质合金立铣刀，用于微小零件的微细精加工。

一般硬质合金立铣刀以 ϕ20mm 刃径为分界线。刃径 ϕ20mm 以下者，多制成整体硬质合金立铣刀。刃径超过 ϕ20mm，若制成整体式，则成本高，加工制造困难，故多制成可转位或者焊接硬质合金立铣刀。整体硬质合金直柄立铣刀形式与尺寸如图 5-18 和表 5-6 所示。

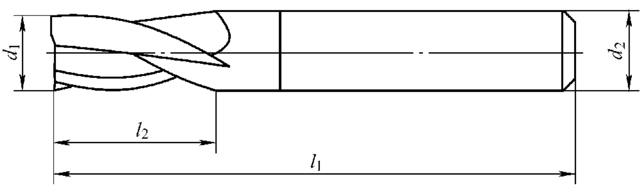


图 5-18　整体硬质合金直柄立铣刀

整体硬质合金立铣刀，按切削刃形状分有平端、圆 R 端、球头、锥刃、锥

刃球头、成形、微型切削刃等。按切削刃数分，有单刃、双刃、3 刃及 4 刃和多刃之分。按切削用途分，有键槽加工、台阶加工、侧面加工、圆 R 加工、倒角加工、轮廓加工、仿形加工、高硬度材料加工、难切削材料加工及非金属材料加工等用途立铣刀。

表 5-6　整体硬质合金直柄立铣刀主要尺寸　　（单位：mm）

直径 d_1	柄部直径 d_2	总长 l_1	刃长 l_2	直径 d_1	柄部直径 d_2	总长 l_1	刃长 l_2
1.0	3	38	3	5.0	5	47	13
	4	43			6	57	
1.5	3	38	4	6.0	6	57	
	4	43		7.0	8	63	
2.0	3	38	7	8.0		63	
	4	43		9.0	10	72	
2.5	3	38	8	10.0	10	72	22
	4	43		12.0	12	76	22
3.0	3	38	8			83	26
	6	57		14.0	14	83	26
3.5	4	43	10	16.0	16	89	32
	6	57		18.0	18	92	32
4.0	4	43	11	20.0	20	101	38
	6	57					

2. 镶焊式硬质合金立铣刀

镶焊式硬质合金立铣刀分直刃和螺旋齿两种形式。

（1）直刃立铣刀　镶焊式硬质合金斜齿立铣刀用于加工铸铁时，刀片材料选用 YG6 或 YG8，加工钢时选用 YT15，刀体材料一般为 9SiCr。根据直径大小，镶焊式直刃硬质合金立铣刀有直柄和锥柄两种结构，图 5-19 和图 5-20 分别为直柄和锥柄立铣刀的结构。

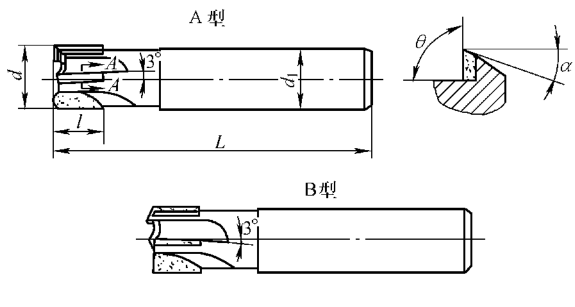


图 5-19　直柄硬质合金斜齿立铣刀

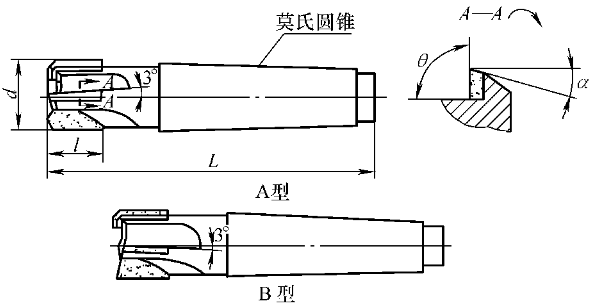


图 5-20　锥柄硬质合金斜齿立铣刀

（2）螺旋齿立铣刀　焊接式硬质合金螺旋齿立铣刀适用于加工碳素结构钢和合金工具钢。结构有普通直柄和削平直柄、莫氏锥柄、7∶24 锥柄等硬质合金螺旋齿立铣刀，如图 5-21 、图 5-22、图 5-23 所示。

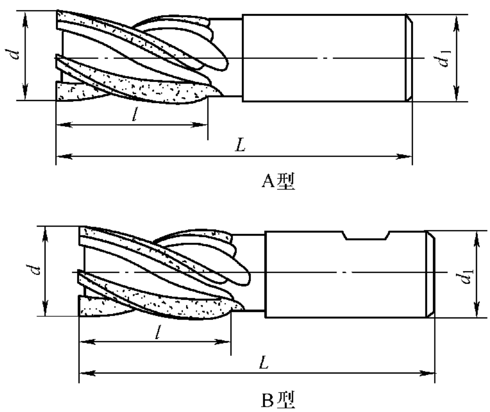


图 5-21　普通直柄和削平直柄的硬质合金螺旋齿立铣刀

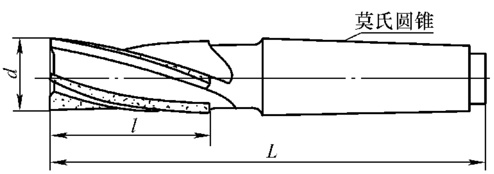


图 5-22　硬质合金螺旋齿莫氏锥柄立铣刀

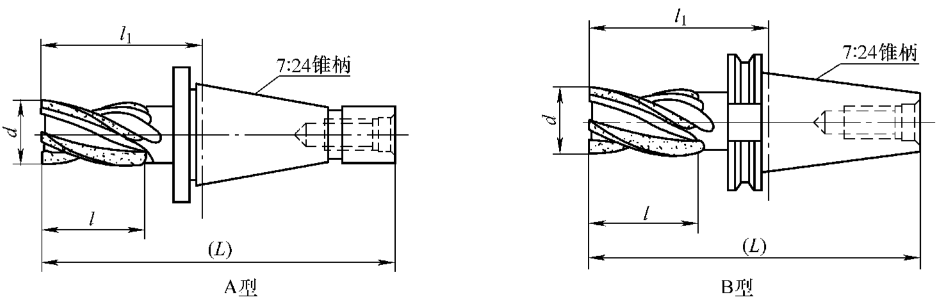
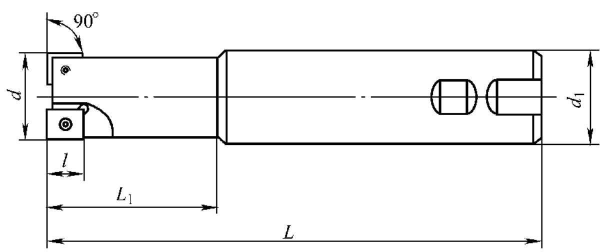


图 5-23　硬质合金螺旋齿 7∶24 锥柄立铣刀

3. 机夹可转位立铣刀

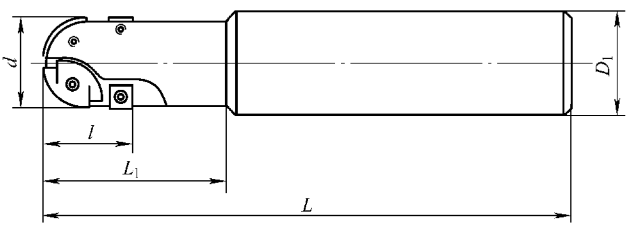
机夹可转位立铣刀的适宜直径范围可达 $\phi10\sim50$mm，根据直径的不同有 1 ~ 6 个刀齿，广泛用于铣削平面、沟槽、台肩等。一般采用带孔刀片，直接用螺钉压紧，结构简单，容屑空间大。刀片前面为正的径向前角和轴向前角曲面，因而切削轻快，在减少切削阻力与增强刀刃强度之间取得平衡。表 5-7 和表 5-8 分别为机夹可转位 90°直角立铣刀和机夹可转位球头立铣刀结构及主要参数。

表 5-7　机夹可转位 90°直角立铣刀结构及主要参数　（单位：mm）



d	l	z	L_1	d_1	L
12	6	1	30	16	83
14					
16	15		40		92
20				20	104
25		2		25	121
32		3	40	32	133
40		4			152
50					165

表 5-8　机夹可转位球头立铣刀结构及主要参数　　（单位：mm）



d	l	z	L_1	D_1	L
16	11.5	2	40	16	112
20	12.7			20	124
25	15.7			25	141
30	17.7			32	185

5.2.4　其他铣刀

1. 三面刃铣刀

三面刃铣刀在刀体的圆周上及两侧环形端面上均有刀齿，所以称为三面刃铣刀，适用于加工凹槽和台阶面。圆周切削刃为主切削刃，侧面刀刃是副切削刃，加工时侧面刀刃对侧面起修光作用，提高了切削效率，但重磨后宽度尺寸变化较大。三面刃铣刀可分为直齿、错齿和镶齿三面刃铣刀。

图 5-24 所示为直齿三面刃铣刀。按国家标准规定，直齿三面刃铣刀直径 $d=50\sim200$mm、厚度 $L=4\sim40$mm。它的主要特点是圆周齿前面与端齿前面是一个平面，可以一次铣成和刃磨，使工序简化；圆周齿和端齿均留有凸出刃带，便于刃磨，且重磨后能保证刃带宽度不变。但侧刃前角 $\gamma'_o=0°$，切削条件差。

错齿三面刃铣刀（见图 5-25）的 γ'_o 近似等于 λ_s。与直齿三面刃铣刀相比，它具有切削平稳，切削力小，排屑容易和容屑槽大等优点。

图 5-26 所示为镶齿三面刃铣刀，该铣刀直径 $d=80\sim315$mm、厚度 $L=12\sim40$mm。在刀体上开有带 5°斜度齿槽，带齿纹的楔形刀齿楔紧在齿槽内。各个同向齿槽的齿纹依次错开 P/z（z 为同向倾斜的齿数；P 为齿纹齿距）。铣刀磨损后，可依次取出刀齿，并移至下一个相邻同向齿槽内。调整后铣刀厚度增加 $2P/z$，再通过重磨，可恢复铣刀厚度尺寸。

硬质合金可转位三面刃铣刀（见图 5-27）一般通过楔块螺钉或压孔式将刀片夹紧在刀体上，形成可转位三面刃铣刀，刀片的安装多数采用平装。主要用于中等硬度、强度的金属材料的台阶面和槽形面的铣削加工，也可用于非金属材料

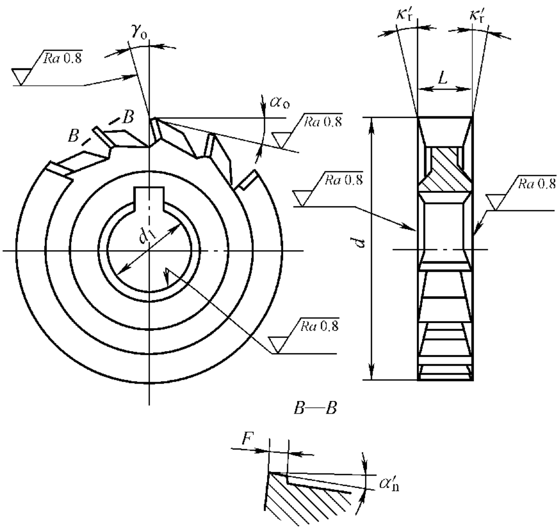


图 5-24　直齿三面刃铣刀

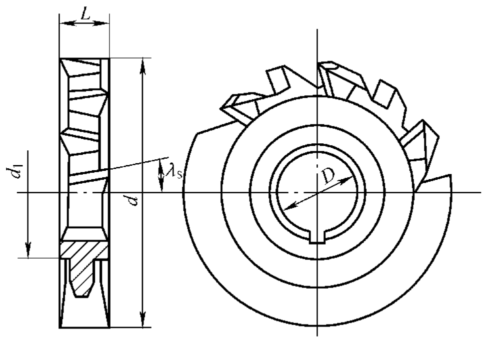


图 5-25　错齿三面刃铣刀

的加工。可转位三面刃铣刀的前角一般取 $\gamma_p = +3° \sim +5°$、$\gamma_f = -2° \sim +7°$。取 $\kappa'_r = 40' \sim 1°$。常用可转位三面刃铣刀直径 $d = 80 \sim 315$mm，$L = 10 \sim 32$mm。一般可转位三面刃铣刀有两个键槽，以便于组合使用时，将刀齿错开，使切削平稳。

2. 模具铣刀

模具铣刀（见图 5-28）用于加工模具型腔或凸模成形表面。在模具制造中广泛应用。它是由立铣刀演变而成。高速钢模具铣刀主要分为圆锥形立铣刀（直径 $d = 6 \sim 20$mm，半锥角 $\alpha/2 = 3°$、5°、7°和 10°）、圆柱形球头立铣刀（直径 $d = 4 \sim 63$mm）和圆锥形球头立铣刀（直径 $d = 6 \sim 20$mm，半锥角 $\alpha/2 = 3°$、

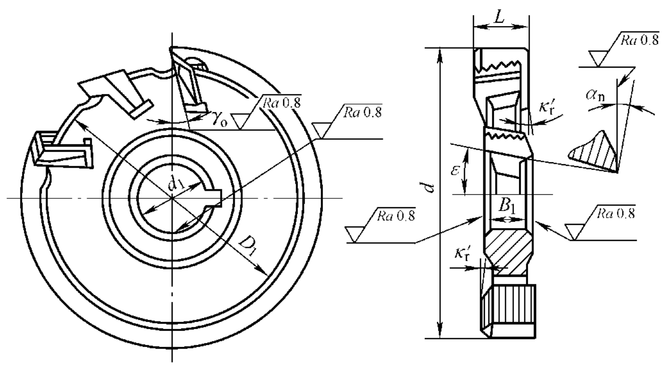


图 5-26　镶齿三面刃铣刀

5°、7°和 10°)。按工件形状和尺寸来选择。

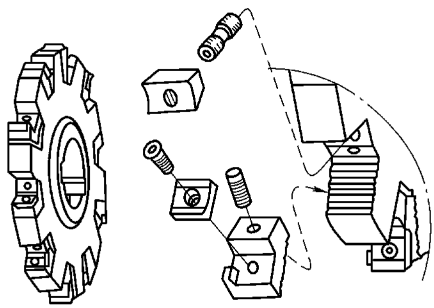


图 5-27　硬质合金可转位三面刃铣刀

硬质合金球头铣刀可分为整体式和可转位式。整体式硬质合金球头铣刀直径 $d=3\sim20$mm，螺旋角 $\beta=30°$或 45°，齿数 $z=2\sim4$ 齿。适用于高速、大进给铣削。加工表面粗糙度值小，主要用于精铣。

可转位球头立铣刀（见图 5-29）前端装有一片或两片可转位刀片，它有两个圆弧切削刃，直径较大的可转位球头立铣刀除端刃外，在圆周上还装长方

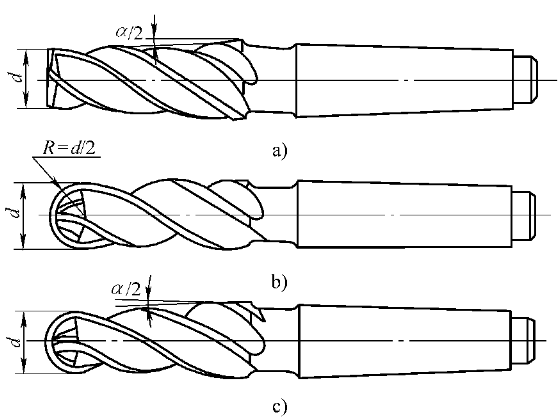


图 5-28　高速钢模具铣刀

a）圆锥形立铣刀　b）圆柱形球头立铣刀　c）圆锥形球头立铣刀

形可转位刀片，以增大最大吃刀量。用这种球头铣刀进行坡铣时，向下倾斜角不宜大于 30°。铣削表面粗糙度值较大，主要用于高速粗铣和半精铣。

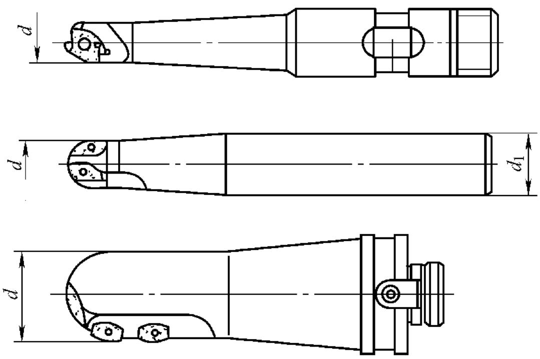


图 5-29　可转位球头立铣刀

3. 键槽铣刀

键槽铣刀如图 5-30 所示，它有两个刀齿，圆柱面和端面都有切削刃，端面刃延至中心，既像立铣刀，又像钻头。加工时先轴向进给达到槽深，然后沿槽方向铣出键槽全长。主要用于加工圆头平键封闭键槽。

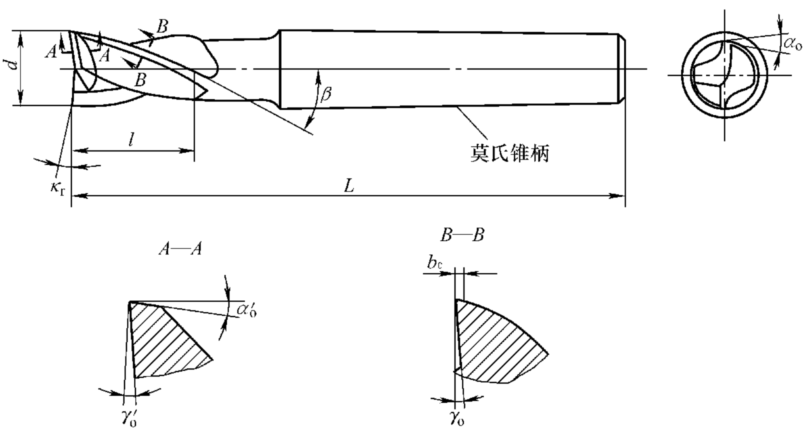


图 5-30　键槽铣刀

按国家标准规定，直柄键槽铣刀直径 $d=2\sim22$mm，锥柄键槽铣刀直径 $d=14\sim50$mm。键槽铣刀直径的偏差有 e8 和 d8 两种。键槽铣刀的圆周切削刃仅在靠近端面的一小段长度内发生磨损，重磨时，只需刃磨端面切削刃，因此重磨后

铣刀直径不变。

4. 螺纹铣刀

铣削螺纹时，刀具圆周运动产生螺纹的直径，同时垂直方向的移动产生螺距。对右手内螺纹需刀杆逆时针旋转，同时沿 z 轴向上运动；左手内螺纹需刀杆逆时针旋转，同时沿 z 轴向下运动；对右手外螺纹需刀杆顺时针旋转，同时沿 z 轴向下运动；对左手外螺纹需刀杆顺时针旋转，同时沿 z 轴向上运动。图 5-31 所示为螺纹铣削刀具运动方式。

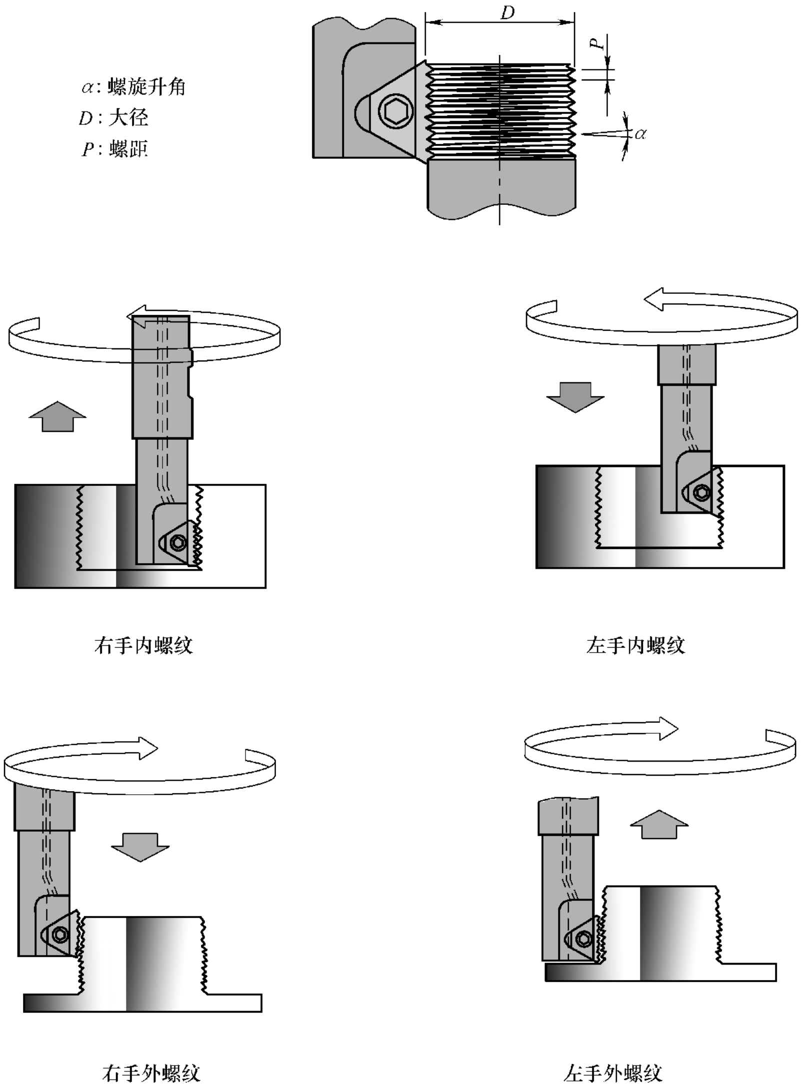


图 5-31　螺纹铣削刀具运动方式

螺纹铣削广泛用于成批和大量生产的普通精度螺纹加工；对大规格螺纹，也可作为精密螺纹制造时的螺纹预加工，提高生产率；也可加工非旋转类或非对称零件的螺纹及盲孔且没有退刀槽螺纹加工。螺纹铣削优点是铣削螺纹时，可以一次成形；其次是一把螺纹铣刀可以加工不同直径的内螺纹和外螺纹及左旋螺纹和右旋螺纹；在加工盲孔螺纹时，螺纹深度可以到达孔底；螺纹铣削由于切削力小，可在小功率设备上一次成形加工出大螺纹，减少了设备空转时间和刀具更换次数；螺纹铣刀的成本远远低于丝锥和板牙，特殊复合涂层螺纹铣刀可以大大延长螺纹刀具的寿命。上述优点是螺纹铣削在实际加工中得到了广泛的应用。

螺纹铣刀片的型号主要表示刀片的牙型、螺距及尺寸和切削类型，图 5-32 所示为成都千木刀具螺纹铣刀片型号编制规则，图 5-33 所示为螺纹铣刀型号示例。

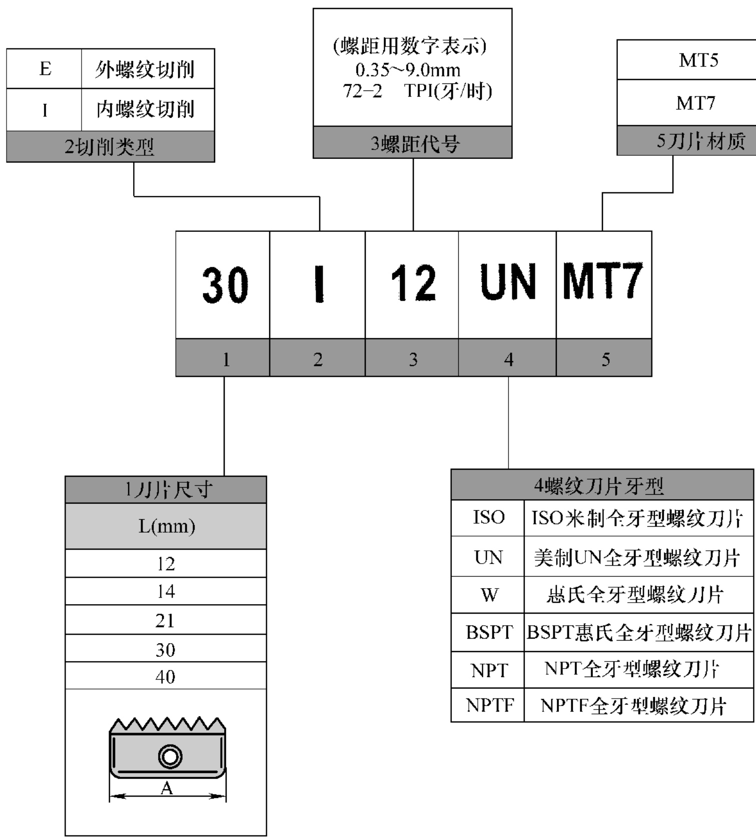
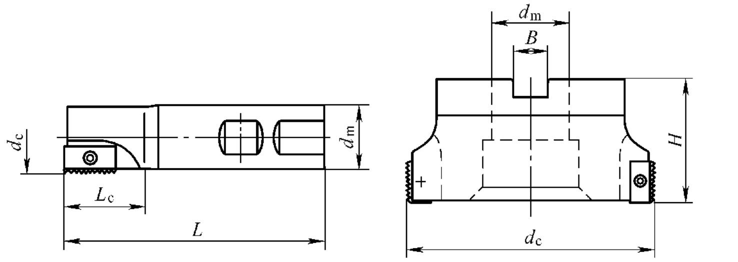


图 5-32 成都千木刀具螺纹铣刀片型号编制规则



示例	型号	尺寸				齿数	螺距 P	
		d_c	d_m	L_c	H		mm	TP1
图a	ST9−9.5R1T12−B20	9.5	20	14	85	1	0.5～1.5	16～32
图b	ST90−63R5T21−P22	63	22	–	50	5	1～3.5	7～24

图 5-33　成都千木刀具螺纹铣刀型号示例

5.3　可转位铣刀的合理选用

目前可转位铣刀已广泛应用于各行业的高效、高精度铣削加工，其种类已基本覆盖了现有的全部铣刀类型。由于可转位铣刀结构各异、规格繁多，选用时有一定难度，而可转位铣刀的正确选择和合理使用是充分发挥其效能的关键。下面就可转位铣刀的合理选用提供一些依据，供广大读者参考。

5.3.1　可转位铣刀的结构

可转位铣刀一般由刀片、定位元件、夹紧元件和刀体组成。由于刀片在刀体上有多种定位与夹紧方式，刀片定位元件的结构又有不同类型，因此可转位铣刀的结构型式有多种，分类方法也较多。但对用户选择刀具结构类型起主要作用的是刀片排列方式，排列方式可分为平装结构和立装结构两大类。

刀片径向排列的平装结构国外以 SANDVIK 公司的产品为代表，国内大多数刀具厂家生产的可转位铣刀均采用此种结构型式（见图 5-34）。平装结构铣刀的刀体结构工艺性好，容易加工，并可采用无孔刀片（无孔刀片价格较低，可重磨）。这种结构由于需要夹紧元件，刀片的一部分被覆盖，容屑空间较小，且切削力方向的硬质合金截面较小，故平装结构的铣刀一般用于轻型和中量型的铣削加工。

刀片切向排列的立装结构国外以 INGERSOLL 公司的产品为代表，国内哈尔

滨第一工具厂、陕西航空硬质合金工具厂均生产此种结构型式的铣刀（见图 5-35）。立装结构的刀片只用一个螺钉固定在刀槽上，结构简单，转位方便，刀片装夹零件较少，但刀体的加工难度较大，一般需用五坐标加工中心进行加工。由于刀片切向安装，在切削力方向的硬质合金截面较大，因而可进行大切深、大走刀量切削，这种铣刀适用于重型和中型的铣削加工，是数控龙门铣床、落地镗铣床、较大规格加工中心、专用铣削机床等重型、中型高效、高精度铣削加工的最佳选择。

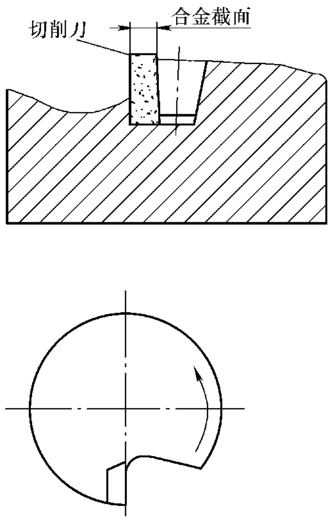


图 5-34　平装结构

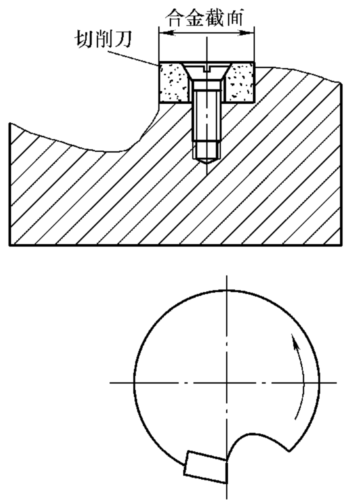


图 5-35　立装结构

5.3.2　可转位铣刀的角度选择

可转位铣刀的角度有前角、后角、主偏角、副偏角、刃倾角等。为满足不同的加工需要，有多种角度组合形式。各种角度中最主要的是主偏角和前角（制造厂的产品样本中对刀具的主偏角和前角一般都有明确说明）。

1. 主偏角 κ_r

主偏角为切削刃与切削平面的夹角。可转位铣刀的主偏角有 90°、88°、75°、70°、60°、45°等几种。主偏角的大小对径向切削力、切削深度有着很大影响。径向切削力的大小直接影响切削功率和刀具的抗振性能。铣刀的主偏角越小，其径向切削力越小，抗振性也越好，但切削深度也随之减小，如图 5-36 所示。

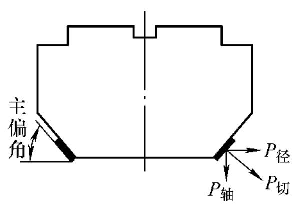


图 5-36　可转位铣刀主偏角

1）90°主偏角可转位铣刀在铣削带凸肩的平面时选用，一般不用于纯平面加工。该类刀具通用性好（即可加工台阶面，又可加工平面），在单件、小批量加工中选用。由于该类刀具的径向切削力等于切削力，进给抗力大，易振动，因而要求机床具有较大功率和足够的刚性。在加工带凸肩的平面时，也可选用 88°主偏角的铣刀，较之 90°主偏角铣刀，其切削性能有一定改善。

2）60°～75°主偏角可转位铣刀适用于平面铣削的粗加工。由于径向切削力明显减小（特别是 60°时），其抗振性有较大改善，切削平稳、轻快，在平面加工中应优先选用。75°主偏角铣刀为通用型刀具，适用范围较广；60°主偏角铣刀主要用于镗铣床、加工中心上的粗铣和半精铣加工。

3）45°主偏角可转位铣刀的径向切削力大幅度减小，约等于轴向切削力，切削载荷分布在较长的切削刃上，具有很好的抗振性，适用于镗铣床主轴悬伸较长的加工场合。用该类刀具加工平面时，刀片破损率低，耐用度高；在加工铸铁件时，工件边缘不易产生崩刃。

2. 前角 r_o

铣刀的前角可分解为径向前角 r_f 和轴向前角 r_p，径向前角 r_f 主要影响切削功率；轴向前角 r_p 则影响切屑的形成和轴向力的方向，当 r_p 为正值时切屑即飞离加工面。径向前角 r_f 和轴向前角 r_p 正负的判别如图 5-37 所示。

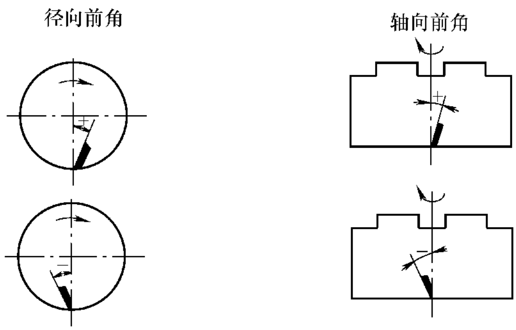


图 5-37　径向前角 r_f 和轴向前角 r_p 正负的判别

常用的前角组合形式如下：

（1）双负前角　双负前角的铣刀通常均采用方形（或长方形）无后角的刀片，刀具切削刃多（一般为 8 个），且强度高、抗冲击性好，适用于铸钢、铸铁件的粗加工。由于切屑收缩比大，需要较大的切削力，因此要求机床具有较大功率和较高刚性。由于轴向前角为负值，切屑不能自动流出，当切削韧性材料时，易出现积屑瘤和刀具振动。

凡能采用双负前角刀具加工时，建议优先选用双负前角铣刀，以便充分利用

和节省刀片。当采用双正前角铣刀产生崩刃（即冲击载荷大）时，在机床允许的条件下，也应优先选用双负前角铣刀。

（2）双正前角　双正前角铣刀采用有后角的刀片，这种铣刀楔角小，具有锋利的切削刃。由于切屑收缩比小，所耗切削功率较小，切屑成螺旋状排出，不易形成积屑瘤。这种铣刀最适宜用于软材料和不锈钢、耐热钢等材料的切削加工。对于刚性差（如主轴悬伸较长的镗铣床）、功率小的机床和加工焊接结构件时，也应优先选用双正前角铣刀。

（3）正负前角（轴向正前角、径向负前角）　这种铣刀综合了双正前角和双负前角铣刀的优点，轴向正前角有利于切屑的形成和排出，径向负前角可提高刀刃强度，改善抗冲击性能。此种铣刀切削平稳，排屑顺利，金属切除率高，适用于大余量铣削加工。

5.3.3　可转位铣刀的齿数（齿距）

铣刀齿数多，可提高生产效率，但受容屑空间、刀齿强度、机床功率及刚性等的限制，不同直径的可转位铣刀的齿数均有相应规定。为满足不同用户的需要，同一直径的可转位铣刀一般有粗齿、中齿、密齿三种类型。

（1）粗齿铣刀　适用于普通机床的大余量粗加工和软材料或切削宽度较大的铣削加工；当机床功率较小时，为使切削稳定，也常选用粗齿铣刀。

（2）中齿铣刀　为通用系列，使用范围广泛，具有较高的金属切除率和切削稳定性。

（3）密齿铣刀　主要用于铸铁、铝合金和有色金属的大进给速度切削加工。在专业化生产（如流水线加工）中，为充分利用设备功率和满足生产节奏要求，也常选用密齿铣刀（此时多为专用非标铣刀）。

（4）不等分齿距铣刀　不等分齿距铣刀是为防止工艺系统出现共振，使切削平稳。如英格索尔公司的 MAX－I 系列、瓦尔特公司的 NOVEX 系列铣刀均采用了不等分齿距技术。对铸钢、铸铁件的大余量粗加工，建议优先选用不等分齿距的铣刀。

5.3.4　可转位铣刀的直径

可转位铣刀直径的选用主要取决于设备的规格和工件的加工尺寸。

1. 平面铣刀

选择平面铣刀直径时主要需考虑刀具所需功率应在机床功率范围之内，也可将机床主轴直径作为选取的依据。平面铣刀直径可按 $D=1.5d$（d 为机床主轴直径）选取。在批量生产时，也可按工件切削宽度的 1.2～1.5 倍选择刀具直径。

平面铣刀直径（mm）系列标准为：50、63、80、100、125、160、200、250、315、400、500、630。

2. 立铣刀

立铣刀直径的选择主要应考虑工件加工尺寸的要求，并保证刀具所需功率在机床额定功率范围以内。如小直径立铣刀，则应主要考虑机床的最高转数能否达到刀具的最低切削速度（60m/min）。

3. 槽铣刀

槽铣刀的直径和宽度应根据加工工件尺寸选择，并保证其切削功率在机床允许的功率范围之内。

5.3.5　刀片牌号的选择

合理选择刀片硬质合金牌号的主要依据是被加工材料的性能和硬质合金的性能。一般用户选用可转位铣刀时，均由刀具制造厂根据用户加工的材料及加工条件配备相应牌号的硬质合金刀片。

由于各厂生产的同类用途硬质合金的成分及性能各不相同，硬质合金牌号的表示方法也不同，为方便用户，国际标准化组织规定，切削加工用硬质合金按其排屑类型和被加工材料分为三大类：P 类、M 类和 K 类。根据被加工材料及适用的加工条件，每大类中又分为若干组，用两位阿拉伯数字表示，每类中数字越大，其耐磨性越低、韧性越高。

1. P 类合金（包括金属陶瓷）

P 类合金（包括金属陶瓷）用于加工产生长切屑的金属材料，如钢、铸钢、可锻铸铁、不锈钢、耐热钢等。分类号及选择原则如下：

P01　P05　P10　P15　P20　P25　P30　P40　P50

进给量　韧性（吃刀深度）→高

切削速度　耐磨性（硬度）→低

2. M 类合金

M 类合金用于加工产生长切屑和短切屑的黑色金属或有色金属，如钢、铸钢、奥氏体不锈钢、耐热钢、可锻铸铁、合金铸铁等。分类号及选择原则如下：

M10　M20　M30　M40

进给量　韧性（吃刀深度）→高

切削速度　耐磨性（硬度）→低

3. K 类合金

K 类合金用于加工产生短切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料，如铸

铁、铝合金、铜合金、塑料、硬胶木等。分类号及选择原则如下：

K01　K10　K20　K30　K40

进给量　韧性（吃刀深度）→高

切削速度　耐磨性（硬度）→低

第 6 章　数控加工中孔加工刀具

6.1　孔加工刀具的种类及孔加工的方法及特点

在工件实体材料上钻孔或扩大已有孔的刀具统称为孔加工刀具，机加工中孔加工刀具应用非常广泛。由于孔的形状、规格、精度要求和加工方法不相同，孔加工刀具种类很多。按其用途可分为在实体材料上加工孔用刀具和对已有孔加工用刀具。

6.1.1　孔加工刀具的种类

1. 在实体材料上加工孔用刀具

（1）麻花钻　麻花钻是孔加工刀具中应用最为广泛的刀具，特别适合于直径小于 30mm 的孔的粗加工，直径大一点的也可用于扩孔。麻花钻按其制造材料不同可分为高速钢麻花钻和硬质合金麻花钻。而在钻孔中以高速钢麻花钻为主，详见 6.2 节。

（2）中心钻　中心钻主要用于加工轴类零件的中心孔，根据其结构特点分为无护锥中心钻（见图 6-1a）和带护锥中心钻（见图 6-1b）两种。钻孔前，先打中心孔，有利于钻头的导向，防止孔的偏斜。

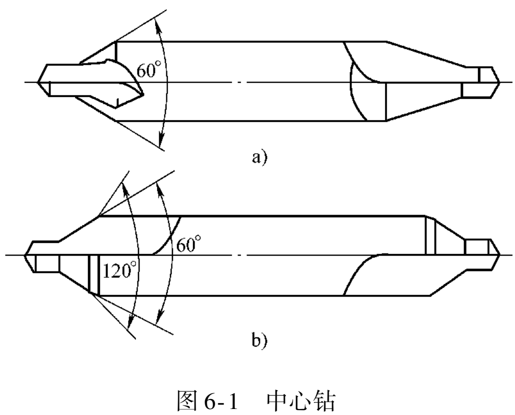


图 6-1　中心钻
a）无护锥中心钻　b）带护锥中心钻

（3）深孔钻　深孔钻一般用来加工深度与直径之比值较大的孔，由于切削液不易到达切削区域，刀具的冷却散热条件差，切削温度高，刀具耐用度降低，再加上刀具细长，刚度较差，钻孔时容易发生引偏和振动。因此为保证深孔加工质量和深孔钻的耐用度，深孔钻在结构上必须解决断屑排屑、冷却润滑和导向三个问题。

2. 对已有孔加工用刀具

（1）铰刀　铰刀是孔的精加工刀具，也可用于高精度孔的半精加工。由于铰刀齿数多，槽底直径大，其导向性及刚度好，而且铰刀的加工余量小，制造精度高、结构完善，所以铰孔的加工精度一般可达 IT6～IT8 级，表面粗糙度值 Ra 可达 1.6～0.2μm。铰孔操作方便，生产率高，而且也容易获得高质量的孔，所以在中小孔生产中应用极为广泛。

（2）镗刀　镗刀是一种很常见的扩孔用刀具，在许多机床上都可以用镗刀镗孔（如车床、铣床、镗床及组合机床等）。镗孔的加工精度可达 IT6～IT8，加工表面粗糙度 Ra 可达 6.3～0.8μm，常用于较大直径孔的粗加工、半精加工和精加工。根据镗刀的结构特点及使用方式，可分为单刃镗刀和双刃镗刀，详见 6.4 节。

（3）扩孔钻　扩孔钻通常用于铰或磨前的预加工或毛坯孔的扩大，其外形与麻花钻相类似。扩孔钻通常有三四个刃带，没有横刃，前角和后角沿切削刃的变化小，故加工时导向效果好，轴向抗力小，切削条件优于钻头。

另外，扩孔钻主切削刃较短，容屑槽浅；刀齿数目多，钻心粗壮，刚度强，切削过程平稳，再加上扩孔余量小。因此，扩孔时可采用较大的切削用量，而其加工质量却比麻花钻好。一般加工精度可达 IT10～IT11，表面粗糙度 Ra 可达 6.3～3.2μm。常见的结构型式有高速钢整体式（见图 6-2）、镶齿套式或硬质合金可转位式（见图 6-3）。

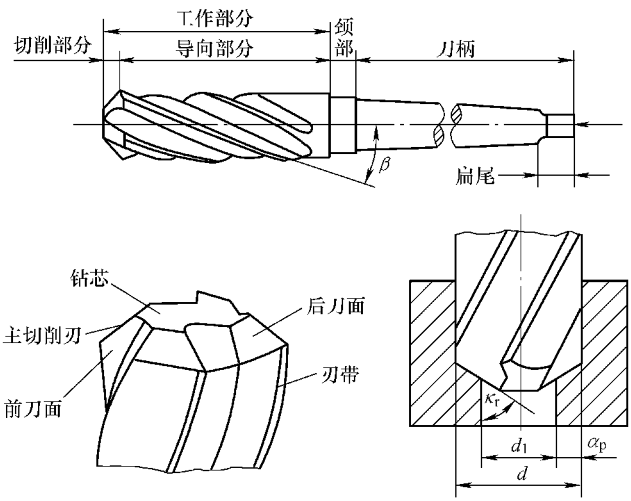


图 6-2　高速钢锥柄扩孔钻

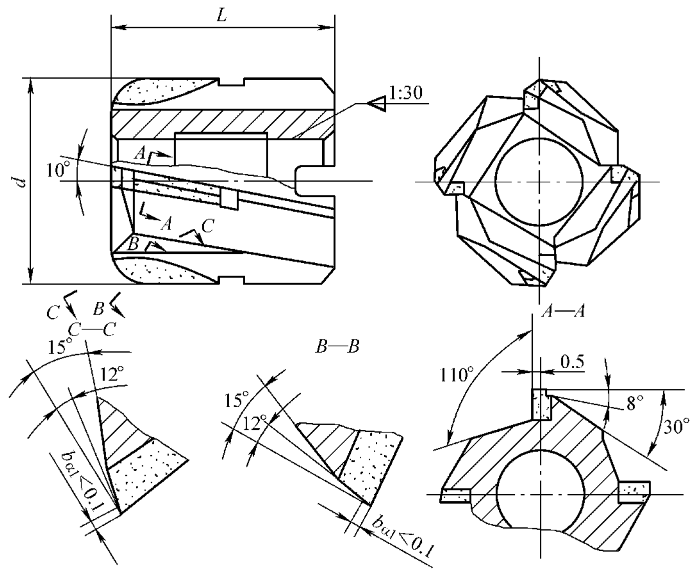


图 6-3　镶焊硬质合金刀片的套式扩孔钻

（4）锪钻　锪钻用于在孔的端面上加工圆柱形沉头孔（见图 6-4a）、加工锥形沉头孔（见图 6-4b 和 c）。锪钻上的定位导向柱用来保证被锪的孔或端面与原来的孔有一定的同轴度和垂直度。导向柱可以拆卸，以便制造锪钻的端面齿。锪钻可制成高速钢整体结构或硬质合金镶齿结构。

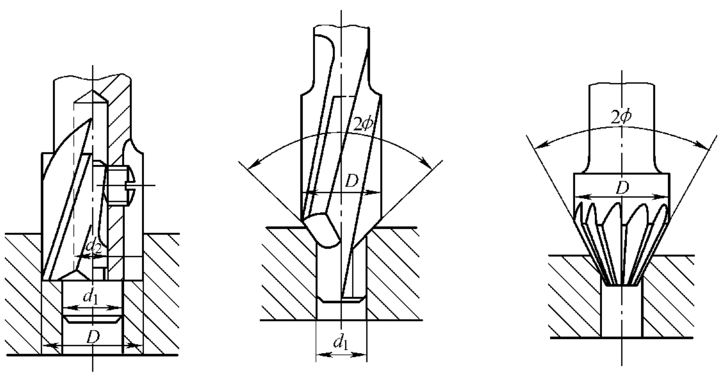


图 6-4　锪钻

a）带导柱平底锪钻　b）带导柱锥面锪钻　c）不带导柱锥面锪钻

6.1.2　孔加工的方法及特点

由于孔加工是对零件内表面的加工，对加工过程的观察、控制困难，其加工难度要比加工外圆表面等开放型表面的加工大很多。孔的加工过程主要有以下几个特点：

1）由于孔加工刀具多为定尺寸刀具，加工过程中，刀具磨损造成的形状和尺寸的变化会直接影响被加工孔的精度。

2）由于受孔的直径太小的限制，切削速度很难提高，影响加工效率和加工表面质量。

3）刀具的结构受孔直径和长度的限制，刚性较差。

4）孔加工时，刀具一般是在半封闭的空间工作，切屑排除困难，切削液难以进入加工区域，散热条件不好。

所以，在孔加工中，必须解决好以下问题：冷却问题、排屑问题、刚性和导向问题、速度（效率）问题。虽然在不同的加工方法中，这些问题的影响程度不同，但每一种孔的切削方法都必须在解决以上相应问题的基础上才能进行。

对实体进行钻孔加工时，钻头的结构随被加工孔大小和深度的不同而异，其中最常见的是标准麻花钻。用麻花钻加工时，加工精度一般在 IT13 ~ IT10，表面粗糙度值为 $Ra12.5 \sim 0.25\mu m$。

对已有的孔进行加工时，铰削和镗削是代表性的精加工方法。铰削加工适用于对较小孔的精加工，铰孔后精度可达 IT8 ~ IT6，表面粗糙度为 $Ra1.6 \sim 0.4\mu m$，但铰削一般效率都不高。镗削加工能获得较高的精度和较小的表面粗糙度值。一般是尺寸公差为 IT8 ~ IT7，表面粗糙度为 $Ra6.3 \sim 0.8\mu m$。镗孔可以在车床、钻床、铣床和加工中心等不同类型的机床上进行。

6.2　麻花钻

麻花钻为钻削加工时最常见的刀具，用于孔的粗加工，其常用的规格从 $\phi0.1 \sim 80mm$。按柄部形状可分为直柄麻花钻和锥柄麻花钻；按制造材料分为高速钢麻花钻和硬质合金麻花钻。硬质合金麻花钻一般制成镶片焊接式，直径 5mm 以下的硬质合金麻花钻通常制成整体式。

6.2.1　高速钢麻花钻

1. 高速钢麻花钻的结构

标准锥柄高速钢麻花钻由以下三部分组成，如图 6-5a 所示。

（1）工作部分　工作部分又分为切削部分与导向部分。切削部分担负着主

要切削工作；导向部分的作用是当切削部分切入工件孔后起导向作用，也是切削部分的备磨部分。为了提高钻头的刚性与强度，其工作部分的钻心直径 d_c 向柄部方向递增，每 100mm 长度上钻心直径的递增量为 1.4 ~ 2mm（见图 6-5d）。

麻花钻的切削部分由两个前面、后面、副后面（临近主切削刃的棱带）、主切削刃、副切削刃及一个横刃组成（见图 6-5c）。

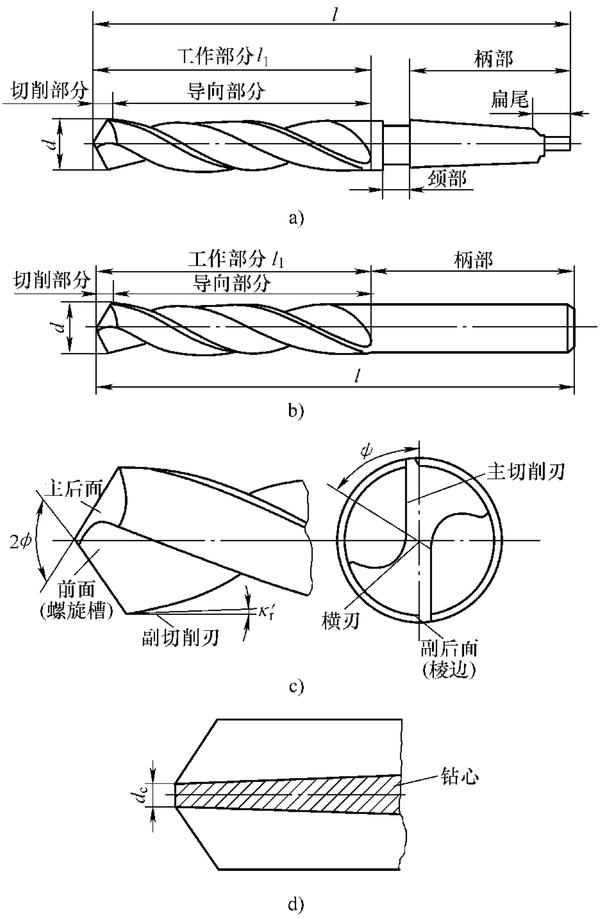


图 6-5　高速钢麻花钻

a）标准锥柄高速钢麻花钻结构组成　b）直柄麻花钻结构组成

c）麻花钻切削部分组成　d）钻心直径

1）前刀面：毗邻切削刃，是起排屑和容屑作用的螺旋槽表面。

2）后刀面：位于工作部分前端，与工件加工表面（即孔底的锥面）相对的表面，其形状由刃磨方法决定，在麻花钻上一般为螺旋圆锥面。

3）主切削刃：前刀面与后刀面的交线。由于麻花钻前刀面与后刀面各有两个，所以主切削刃也有两条。

4）横刃：两个后刀面相交所形成的刀刃。它位于切削部分的最前端，切削被加工孔的中心部分。

5）副切削刃：麻花钻前端外圆棱边与螺旋槽的交线。

6）刀尖：两条主切削刃与副切削刃相交的交点。

（2）柄部　柄部是钻头的夹持部分，并用来传递扭矩。柄部分直柄与锥柄两种，小直径钻头用圆柱柄，直径在12mm以上的均做成莫氏锥柄。锥柄端部制出扁尾，插到钻套中的腰形孔中，可用楔铁将钻头从钻套中击出。

（3）颈部　颈部位于工作部分与柄部之间，用于磨削柄部时退砂轮，也是钻头打标记的地方。为了制造方便，直柄麻花钻一般不制有颈部（见图6-5b）。

2. 麻花钻切削部分的几何参数

（1）基面 P_r 与切削平面 P_s

1）基面：主切削刃上任意点的基面，即通过该点，垂直于该点切削速度方向的平面。主切削刃上各点因其切削速度方向不同，基面位置也不同（见图6-6a）。不难看出，基面总是包含钻头轴线的平面。

2）切削平面：主切削刃上任意点的切削平面，是包含该点切削速度方向，而又切于该点加工表面的平面。同样，由于主切削刃上各点的切削速度方向不同，切削平面位置也不同。图6-6b所示为钻头切削部分最外缘 A 点的基面与切削平面。

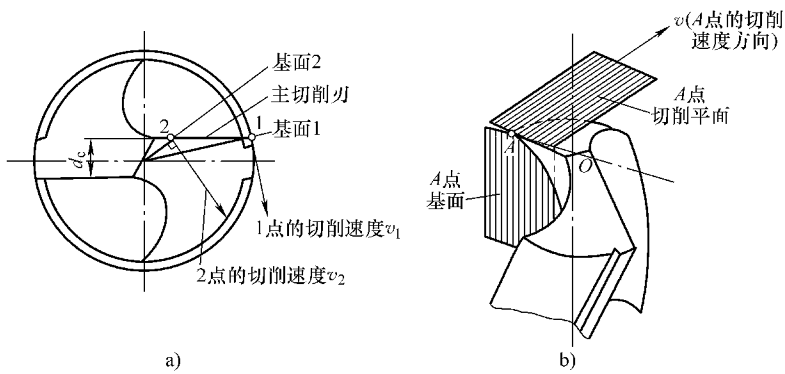


图6-6　麻花钻的基面与切削平面

a）基面　b）切削平面

（2）螺旋角 β　钻头刃带棱边螺旋线展开成直线后与钻头轴线的夹角，它相当于副切削刃刃倾角，如图6-7所示。

$$\tan\beta = \pi d/P \tag{6-1}$$

式中　P——螺旋槽导程，mm；

d——钻头外径，mm。

麻花钻螺旋角一般为 25°～32°。增大螺旋角有利于排屑，能获得较大前角，使切削轻快，但钻头刚性变差。小直径钻头，为提高钻头刚性，螺旋角 β 可取小一些。钻软材料、铝合金时，为改善排屑效果，β 角可取大一些。图 6-7 中 β_x 为切削刃上 x 点的螺旋角，r_x 为该点到中心的距离。

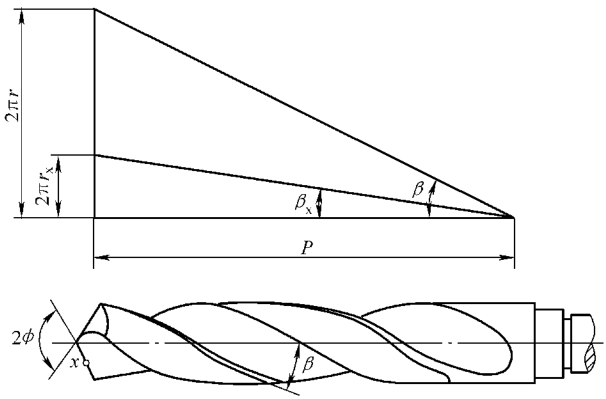


图 6-7　麻花钻的螺旋角和顶角

（3）顶角 2ϕ　它是两主切削刃在其平行的平面上投影的夹角（见图 6-7），顶角越小，主切削刃越长，切削宽度增加，轴向力减小，对钻头的轴向稳定性有效。但减少顶角会使钻尖强度减弱，切屑变形增大，导致扭矩的增加。标准麻花钻的顶角 2ϕ 约为 118°。

（4）刃倾角 λ_s 与端面刃倾角 λ_t　由于麻花钻的主削刃不通过钻头轴线，从而形成刃倾角 λ_s。它是在切削平面内主切削刃与基面之间的夹角，因为主切削刃上各点基面与切削平面位置不同，因此刃倾角也是变化的。图 6-8 的 P_s 向视图中表示出主切削刃上最外缘处的刃倾角。

麻花钻主切削刃上任意点的端面刃倾角 λ_t，是该点的基面与主切削刃在端面投影中的夹角。由于主切削刃上各点的基面不同，因此各点的端面刃倾角也不相等，外缘处最小，越接近钻芯越大。

（5）主偏角　麻花钻主切削刃上某点的主偏角是该点基面上主切削刃的投影与钻头进给方向之间的夹角。由于主切削刃上各点的基面不同，各点的主偏角也随之改变。主切削刃上各点的主偏角是变化的，外缘处大，钻心处小。

（6）前角 γ_o　麻花钻主切削刃上任意一点 y 的前角 γ_{oy} 是在主剖面（图 6-8

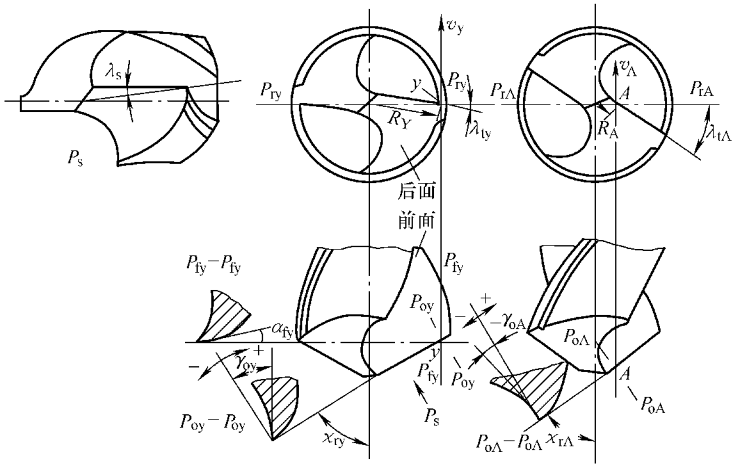


图 6-8　麻花钻的刃倾角、主偏角和前角

中 $P_{oy}-P_{oy}$剖面）测量的前面与基面之间的夹角，前角是由螺旋角形成的。麻花钻主切削刃各点前角变化很大，从外缘到钻芯，前角由 30°减到 −30°。

（7）后角 α_f　麻花钻主切削刃上任意一点 y 的后角 α_{fy}是在以钻头轴线为轴心线的圆柱面的切平面上测量的，如图 6-9 所示。这是由于主切削刃在进行切削时做圆周运动，进给后角能够反映钻头后面与加工表面之间的摩擦关系，同时也方便测量。

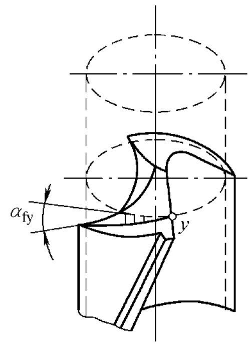


图 6-9　麻花钻的后角

（8）横刃角度　横刃是两个主后面的相交线（见图 6-10）。b_ψ 为横刃长度；在端面投影上，横刃与主切削刃之间的夹角为横刃斜角 ψ，标准麻花钻的横刃斜角 $\psi=50°\sim55°$。当后角磨得偏大时，横刃斜角减小，横刃长度增大。因此，在刃磨麻花钻时，可以观察 ψ 角的大小来判断后角是否磨得合适。

横刃是通过钻头中心的，并且它在钻头端面上的投影为一条直线，因此横刃上各点的基面是相同的。从横刃上任一点的主剖面 $O-O$ 可以看出，横刃前角 $\gamma_{o\psi}$为负值（标准麻花钻的 $\gamma_{o\psi}=-(54°\sim60°)$，横刃后角 $\alpha_{o\psi}\approx90°-|\gamma_{o\psi}|$（标准麻花钻的 $\alpha_{o\psi}=30°\sim36°$）。由于横刃具有很大的负前角，钻削时横刃处发生严重的挤压而造成很大的轴向力。通常横刃的轴向力约占全部轴向力的 1/2 以上。ψ 角越小，轴向力越大。由于横刃处切削条件很差，对加工工件孔的尺寸精度有较大影响。

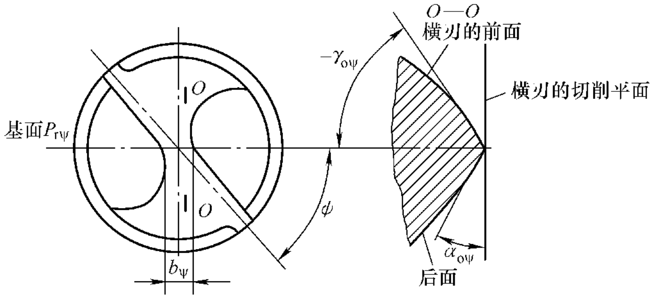


图 6-10　麻花钻的横刃角度

3. 麻花钻切削用量和切削层参数

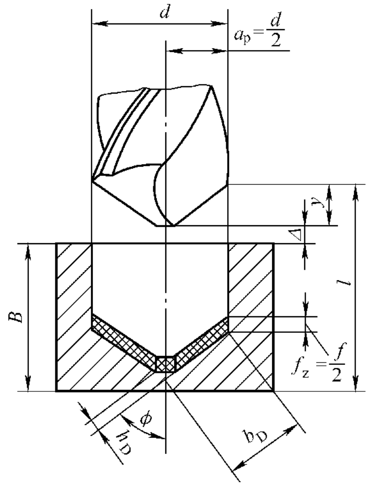


图 6-11　钻削用量

如图 6-11 所示，麻花钻钻削用量包括背吃刀量（钻削深度）a_p、进刀量 f、切削速度 v_c 三要素，由于钻头有两条切削刃，故有：

1）钻削深度 $a_p = d/2$，单位 mm。

2）每刃进刀量 $f_z = f/2$，单位 mm/z。

3）钻削速度 $v_c = \pi dn/1000$，单位 m/min。

钻孔时切削层参数包括：

1）钻削厚度 $h_D \approx f\sin\phi/2$；单位 mm。

2）钻削宽度 $b_D \approx d/2\sin\phi$；单位 mm。

3）每刃切削层公称横截面积 $A_D = df/4$，单位 mm^2。

4）材料切除率 $Q = \dfrac{f\pi d^2 n}{4} \approx 250 v_c df$，单位 mm^3/min。

4. 麻花钻的刃磨

（1）刃磨过渡刃　标准麻花钻的外缘是主副切削刃的交点，此处磨损最快。可将该处修磨成双重顶角，当直径大于 50mm 时，还可磨出三重顶角，也可磨出圆弧刃（相当于多重顶角），如图 6-12 所示。其好处是刀尖角 ε_r 加大，主切削刃工作长度增加，切削厚度减薄，刀具特别是刀尖的强度和散热条件改善。但另一方面由于切削厚度变薄，切削变形和单位面积切削力加大，所以对于塑性大的金属此类修磨办法不宜采用。

（2）修磨横刃　横刃太长，定心不好，同时横刃又有很大的负前角（$-54° \sim -60°$），切削条件差，实际上不是在切削而是在刮削和挤压，将原来的横刃长度修磨短，同时修磨出前角，有利于钻头的定心和减小轴向力。图 6-13 所示为横刃的修磨方法。

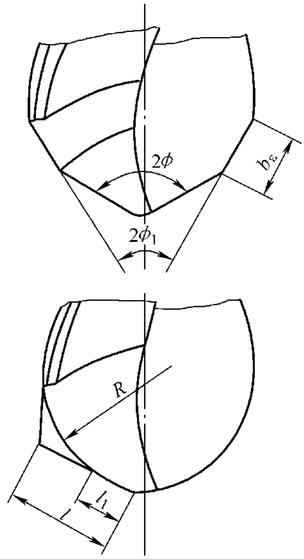


图 6-12　刃磨过渡刃

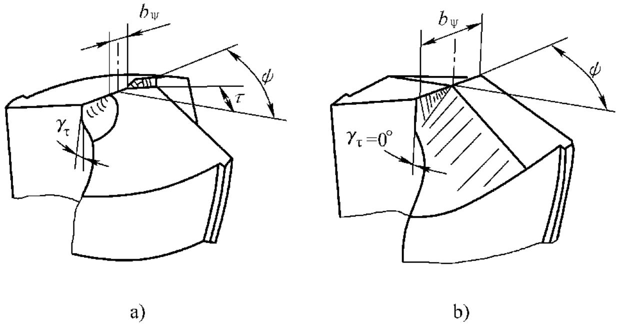


图 6-13　横刃的修磨方法

a）磨大前角　b）磨成十字形

（3）修磨前刀面　这种修磨是改变前角的大小和前刀面形式，以适应不同材料的加工。加工硬脆材料时，为保证切削刃的强度，可将靠近外缘处的前刀面磨平一些，以减小前角，如图 6-14a 所示。加工强度很低的材料时，为了减小切削变形，可在前刀面上磨出卷屑槽，以增大前角，如图 6-14b 所示，使钻头切削

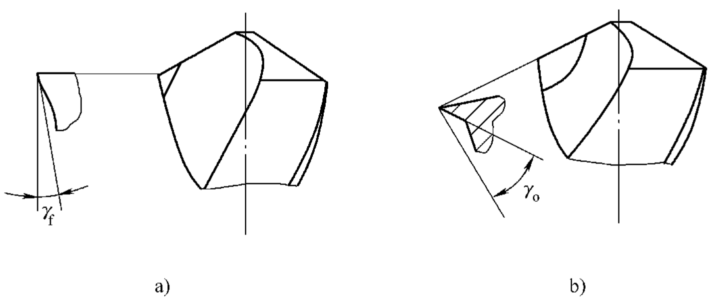


图 6-14　修磨前刀面

a）磨平前刀面　b）在前刀面上磨出卷屑槽

轻快，改善已加工表面质量。

（4）修磨分屑槽　如图 6-15 所示，在钻削塑性材料或尺寸较大的孔时，为了便于排屑，可在两主切削刃的后刀面上交错磨出分屑槽，也可在前刀面上轧制出分屑槽，使切屑分割成窄条，便于排屑。开分屑槽时应注意几点：

1）槽深要大于进给量。

2）两个主切削刃后面上的分屑槽径向位置应错开。

3）分屑槽侧面应呈圆喇叭形，以保证侧刃（开分屑槽形成的）有一定的后角，否则挤压严重，效果反而更差。孔径越大越深开分屑槽的效果越好。

（5）修磨刃带　加工软材料时，为了减小刃带与孔壁的摩擦，对于直径大于 12mm 的钻头，可根据图 6-16 所示对刃带进行修磨。修磨后钻头的耐用度可提高一倍以上。

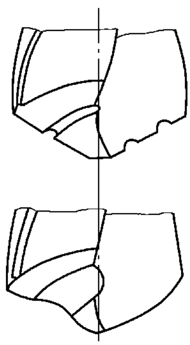


图 6-15　修磨分屑槽

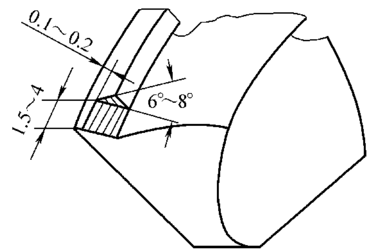


图 6-16　修磨刃带

以上是常见且简单易行的单项修磨措施，可根据具体的加工条件进行单项应用或组合应用。它们都是在先磨好的标准麻花钻的基础上进行修磨而成的。麻花钻属于多刃刀具，除分屑槽外，其他均应注意两个刃瓣的对称，如果对称性不好，切削力不平衡，就会造成孔的歪斜，呈多边形或振动，刀具寿命也随之降低。由于麻花钻的各个刃和面都处于空间位置，手工刃磨和目测检验都不是件容易的事，操作者应认真对待。

6.2.2　硬质合金麻花钻

（1）整体和镶片式硬质合金钻头麻花钻　为了提高切削速度，镶片式硬质合金麻花钻是在钢制的麻花钻钻体上焊接硬质合金刀片，刀片一般采用 K20 或 K30 硬质合金。图 6-17 所示为 $\phi5 \sim 20$mm 直柄镶片式硬质合金麻花钻形式。GB/T 10947—2006 中规定了适用于钻削灰铸铁的 $\phi10 \sim 30$mm 的硬质合金锥柄麻花钻的形式和基本尺寸，以及硬质合金锥柄麻花钻通用技术条件，读者可在该标

准中获得相关数据和规定。

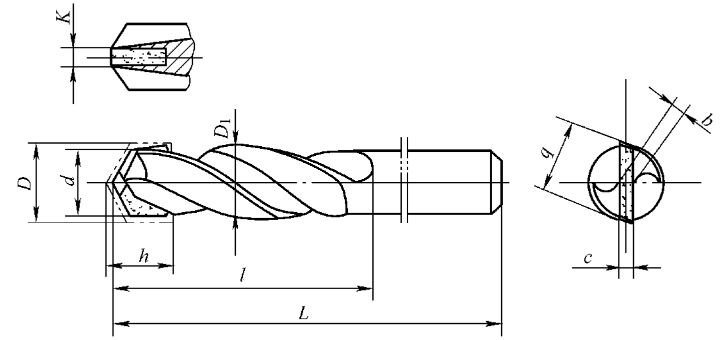


图 6-17　镶片硬质合金直柄钻头

对于整体硬质合金钻头来说，在相同的进给率下，刀具寿命比高速钢高 20 倍，而且切削速度也提高了几倍。随着刀具材料及制造技术的发展，硬质合金钻头的形状有了很大的改进，刀具寿命也得到很大延长，图 6-18 所示为山特维克可乐满生产的硬质合金钻头。

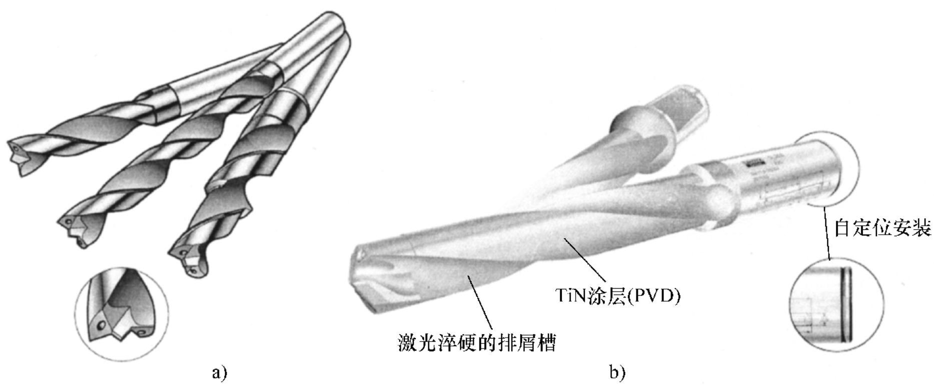


图 6-18　山特维克可乐满生产的硬质合金钻头
a）用于铝合金的整体式硬质合金钻头　b）焊接硬质合金钻头

（2）整体硬质合金印制线路板麻花钻　随着电子工业的发展，对印制线路板用的钻头的要求日益增多。为此制定了 JB/T 8367—1996《整体硬质合金印制线路板麻花钻》，规定了这种钻头的形式、尺寸、技术要求和性能试验要求。

这种钻头尺寸较小，整体用硬质合金制造，标准推荐采用 K10 类硬质合金，且宜采用超细微粒的硬质合金粉制造，考虑到其本身的强度，其螺旋角和后角要比钻削同类材料的高速钢麻花钻稍小为宜。JB/T 8367—1996 制定的 A 型麻花钻

的形式如图 6-19 所示，适用于 ϕ0. 1 ~3. 175mm（1/8in）的麻花钻。B 型麻花钻的形式如图 6-20 所示，适用于 ϕ3. 2 ~6. 4mm 的麻花钻。

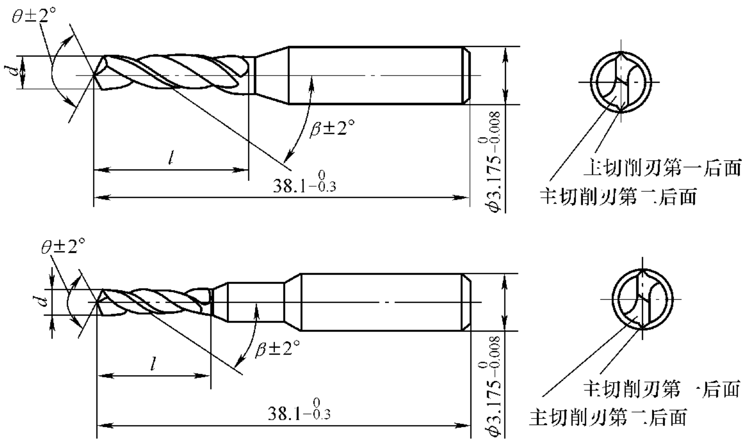


图 6-19　A 型整体硬质合金印刷线路板麻花钻

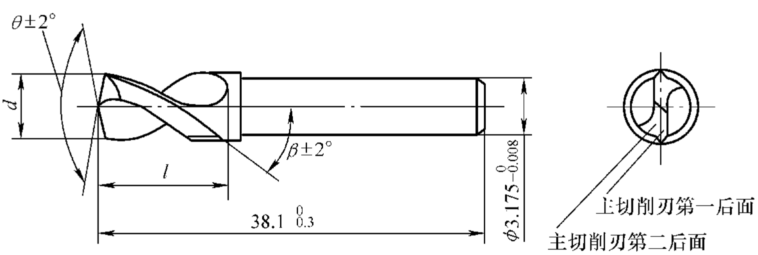


图 6-20　B 型整体硬质合金印刷线路板麻花钻

（3）可转位刀片钻头　可转位刀片钻头通常用于数控车床、车削中心、加工中心及一些多任务机床和专用机床上的高效率孔加工。其将钢制钻柄的韧性和可转位刀片的耐磨性结合在一起，具有高加工效率、通用性及长而可靠的刀具寿命，可以适用各种不同的应用要求，它的加工效率、可靠性和加工精度都比普通钻头高。

可转位刀片钻头是在钻体上开两个直的或螺旋沟槽，在沟槽的前端开槽装夹带有沉孔的硬质合金刀片，并用沉头螺钉夹紧刀片。两块刀片径向位置相互错开，以便切除孔底金属，常称为内、外刀片（齿）。内刀片采用强度高、韧性好而耐磨性稍差的硬质合金，如 YT5、YW2 或 YG 类，外刀片采用硬度高、耐磨性

好而强度稍差的材料，如 YT14、YT15，或内、外刀片均采用综合性能好的涂层刀片，如 YB11。刀片多采用凸三边形、四边形和圆刀片等带沉孔的刀片，用沉头螺钉偏心压紧。可转位刀片硬质合金钻头特点是切削速度较高，金属切除率较大，需要较大的容屑空间和充足切削液冷却润滑和帮助排屑。排屑沟槽有直槽和螺旋槽两种，当加工孔的长径比较大时，一般选用螺旋槽，有利于切削液的输送和切屑的排出。

图 6-21 是采用凸三边形和四边形刀片的硬质合金可转位刀片钻头的结构和切削图形。在进行切削图形设计时应考虑的内容有：

1）内、外刀片应有搭接量（径向交错量），一般为 2 ~ 5mm。搭接的目的：一是切去孔底的全部金属；二是保护外刀片的后备刀尖不发生磨损，即后备刀尖不参加切削，因为转位后它将成为钻头的刀尖，以保证刀片转位后的加工质量。使用者还应注意刀片转位方向。

2）内刀片的切削刃（内刃）不通过钻头中心，有(0.01 ~ 0.02)d 的偏心距离，以利于增大工作后角，若内刃通过中心或高过中心，会导致工作后角为负值和呈现“零速切削”现象，刀片挤压严重，很容易产生崩刃。

3）径向力的平衡，即内、外刀片各段切削刃所承受的径向力相互抵消，避免钻头偏斜，保证切削平衡和加工质量。

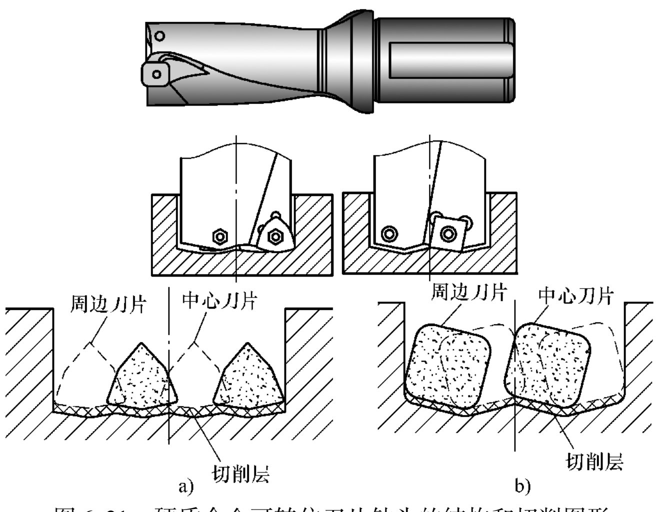


图 6-21　硬质合金可转位刀片钻头的结构和切削图形

a）凸三边形刀片　b）四边形刀片

6.3　深孔钻

深孔加工是一种难度较大的技术，其主要表现在孔的深度与直径之比较大

（一般≥10），钻杆细长，刚性差，工作时容易产生偏斜和振动，因此孔的精度及表面质量难于控制；其次切屑多而排屑通道长，若断屑不好，排屑不畅，则可能由于切屑堵塞而导致钻头损坏，孔的加工质量也无法保证；第三钻头是在近似封闭的状况下工作，而且时间较长，热量大又不易散出，钻头极易磨损。此外，由于孔深与直径之比较大（甚至可达 100 及 100 以上），钻削时无法观察到钻头的工作状况，造成深孔加工的困难。

根据上述特点，对深孔钻应具有以下要求：

1）断屑要好，排屑要通畅。同时还要有平滑的排屑通道，借助一定压力的切削液的作用促使切屑强制排出。

2）良好的导向，防止钻头偏斜。为了防止钻头工作时产生偏斜和振动，除了钻头本身需要有良好的导向装置外，还采取工件回转，钻头只做直线进给运动的工艺方法，来减少钻孔时钻头的偏斜。

3）充分的冷却。切削液在深孔加工时同时起着冷却、润滑、排屑、减振与消声等作用，因此深孔钻必须具有良好的切削液通道。深孔加工用的切削液必须具有较好的流动性，其黏度不宜过大，以利加快流速和冲刷切屑，切削液的流速不宜小于切削速度的 5 ~8 倍，一般为 480 ~720m/min。

按照上述对深孔钻的要求，目前被广泛采用的新型深孔钻主要有以下几种。

6.3.1　单刃外排屑深孔钻

单刃外排屑深孔钻因最初用于加工枪管，故又名枪钻，主要用来加工直径为 3 ~20mm 的小孔，孔深与直径之比可超过 100。加工出的孔精度为 IT8 ~ IT10，加工表面粗糙度 *Ra*3.2 ~0.8μm，孔的直线性也比较好。

如图 6-22 所示，单刃外排屑深孔钻工作时，切削液以高压（3.4 ~9.8MPa）从钻杆和切削部分的进油孔送入切削区以冷却、润滑钻头，并把切屑经钻杆与切削部分的 V 形槽冲刷出来，即切削液由钻杆中注入，切屑有钻杆外冲出，故称外排屑。

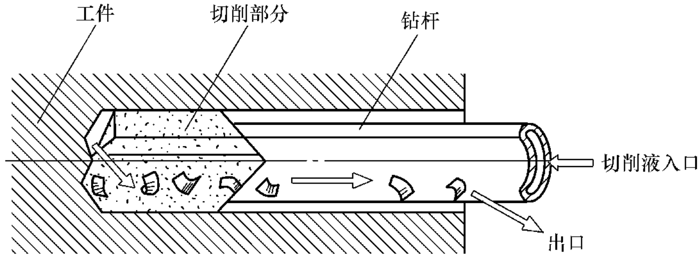


图 6-22　枪钻工作原理

切削部分和钻杆二者一般是焊接起来的。钻杆通常是用无缝钢管轧出 V 形排屑沟槽。在保证钻杆足够强度和刚度的条件下，钻杆内径尽可能取大一些，以利切削部分的冷却润滑及排屑通畅。为避免钻杆与孔壁或钻套摩擦，钻杆外径应略小于钻头外径 0.5 ~1mm。切削部分可用高速钢或硬质合金制成。

单刃外排屑深孔钻切削部分最大特点是没有横刃，仅在轴线一侧有切削刃。切削刃又分为内、外刃，其主偏角为 κ_{r1}、κ_{r2}（见图 6-23），钻尖偏离轴心线距离 e。在加工过程中作用在外刃的径向力大于作用在内刃的径向力，使钻头在钻削过程中径向合力能始终作用于待加工表面，同时保证钻头紧贴向支承面较大的一面，以保证加工孔的直线性（见图 6-24）。

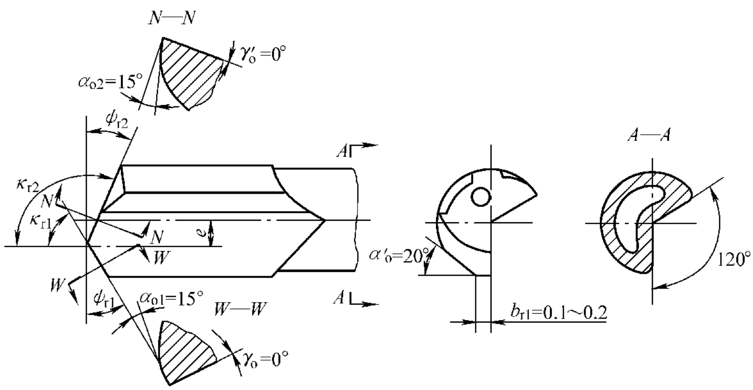


图 6-23　单刃外排屑深孔钻

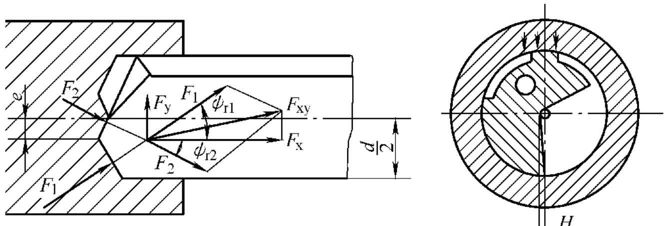


图 6-24　单刃外排屑深孔钻受力分析与切削导向心柱

6.3.2　内排屑深孔钻

内排屑深孔钻是指工作中切屑是从钻杆内部排出而不与工件已加工表面接触，可获得较好的已加工表面质量，图 6-25 是 BTA（Boring and Trepanning Association）深孔钻工作原理和结构简图。BTA 深孔钻由钻头和钻杆组成，通过多头矩形螺纹联成一体，切削液在较高的压力下，由工件孔壁与钻杆外表面之间的空隙进入切削区以冷却、润滑钻头切削部分，并将切屑经钻头前端的排屑孔冲入钻杆内部

向后排出。钻杆截面为管状，刚性好，因而切削效率高于外排屑。内排屑深孔钻主要用于加工 $d = 18 \sim 185\text{mm}$、长径比在 100 以内的深孔，通常直径为 $18.5 \sim 65\text{mm}$ 的制成焊接式（见图 6-25b），而直径大于 65mm 的制成可转位式（见图 6-25c）。

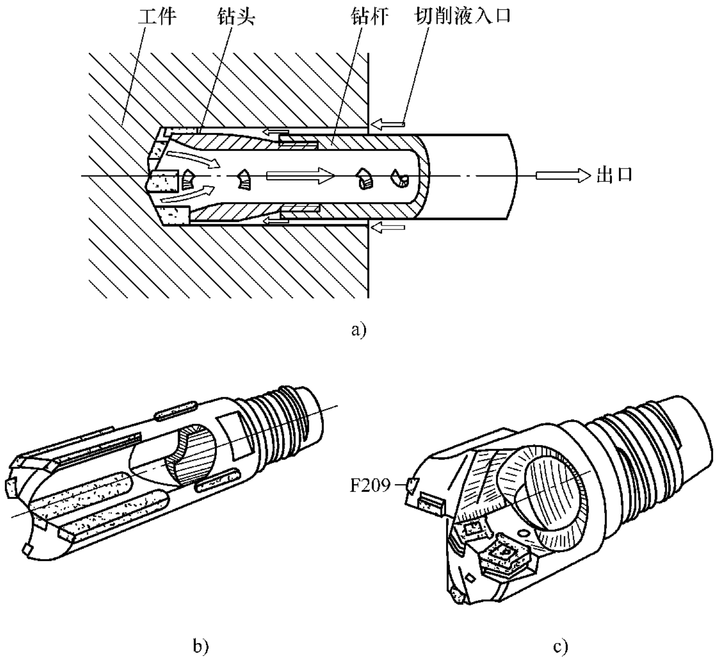


图 6-25　BTA 深孔钻工作原理和结构简图

a）内排屑深孔钻工作原理　b）焊接式　c）转位式

6.3.3　喷吸钻

喷吸钻钻头部分的结构与内排屑深孔钻基本相同，区别在于与钻头相连的钻杆采用的是双层管，如图 6-26 所示。工作时，切削液以一定压力经内、外钻管之间输入，其中 2/3 的切削液通过钻头上的几个小孔流向切削区，对钻头切削部分及导向部分进行冷却与润滑，然后带着切屑从内管排出，另外 1/3 切削液则通过内钻管上的喷嘴（月牙形小槽）向后喷入内钻管，由于流速增大形成喷射效应而形成一个低压区，低压区一直延伸到钻头的排屑通道。这样切屑便随着切削液被吸入内钻管，从而迅速排出。

喷吸钻与一般内排屑深孔钻在外形上十分相似，其主要区别是在于有内钻管。内钻管的作用主要是利用钻管末端的月牙形喷嘴在内钻管内形成一个低压区，产生喷吸效应，从而促进切屑顺利排出。

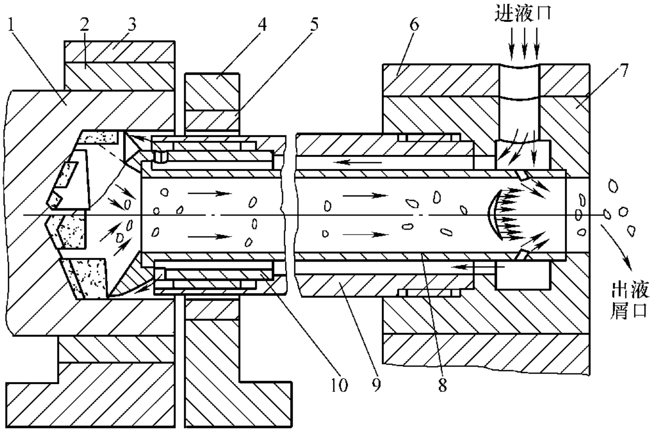


图 6-26　喷吸钻的结构

1—工件　2—夹爪　3—中心架　4—引导架　5—导向管　6—支持座
7—连接套　8—内管　9—外管　10—钻头

6.4　镗刀

镗刀用于各类直径较大的孔加工，特别是位置精度要求较高的孔和孔系。镗刀的类型按功能可分为粗镗刀、精镗刀；按切削刃数量可分为单刃镗刀、双刃镗刀和多刃镗刀；按照工件加工表面特征可分为通孔镗刀、盲孔镗刀、阶梯孔镗刀和端面镗刀；按刀具结构可分为整体式和模块式等。

6.4.1　粗镗刀

粗镗刀应用于孔的半精加工。常用的粗镗刀按结构可分为单刃和双刃，根据不同的加工场合，也有通孔专用镗刀和盲孔加工镗刀。

一般单刃粗镗刀（图 6-27 所示为不同形式的单刃镗刀）结构简单、制造方便、通用性很强。但是这种刀具刚性较差，易引起振动，镗孔尺寸调节不方便，生产效率低，对工人技术要求较高。为了是镗刀头在镗杆内有较大的安装长度，并具有足够的位置压紧螺钉和调节螺钉，在镗盲孔或阶梯孔时，镗刀头在刀杆上的安装斜角一般取 45°。镗通孔时取 0°，以便于镗杆的制造。通常通孔镗刀压紧螺钉从镗杆的端面来压紧镗刀头，盲孔镗刀则从侧面压紧镗刀头。

可调式双刃粗镗刀（见图 6-28）两端都有切削刃，切削时受力均匀可消除径向力对镗杆的影响，通过各类调整可发挥不同的作用，如将一个刃调小后可做单刃镗孔，在刀夹下加垫片可做不同台阶刃镗孔，镗孔范围可达 $\phi25\sim450$mm。可调式双刃粗镗刀最适合在各类型的加工中心或数控铣床上面使用。通常为模块式，加工深度可配合延长杆延伸至所需长度。

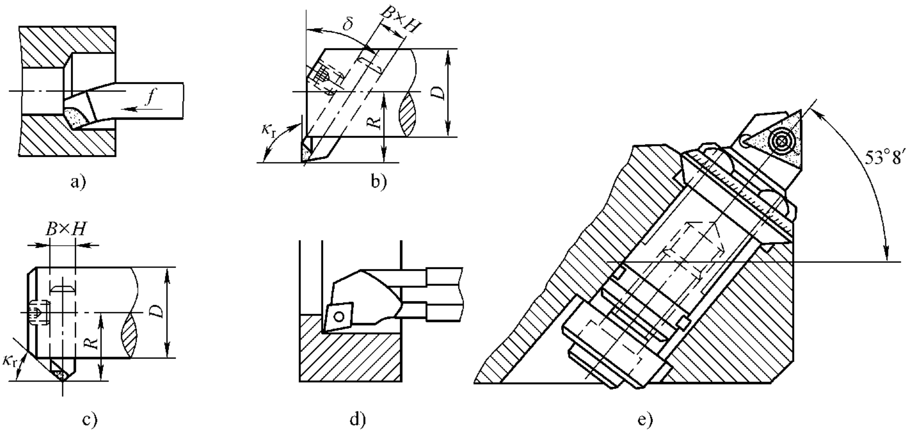


图 6-27　不同形式的单刃镗刀

a）整体焊接式镗刀　b）机夹式盲孔镗刀　c）机夹式通孔镗刀　d）可转位式镗刀　e）微调镗刀

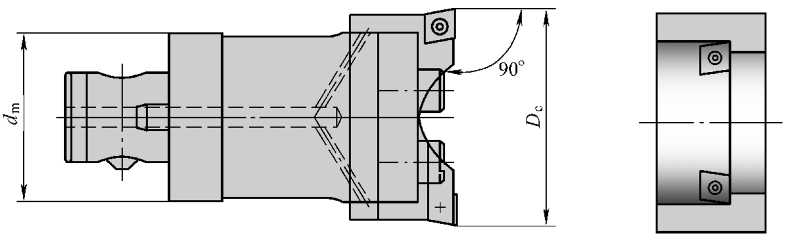


图 6-28　双刃粗镗刀

镗刀的刚性差，切削时易引起振动，所以镗刀的主偏角选得较大，以减小径向力 F_P。镗铸件孔或精镗时，一般取 $\kappa_r=90°$；粗镗钢件孔时，取 $\kappa_r=60°\sim75°$，以提高刀具的耐用度。为避免工件材质不均等原因造成扎刀现象以及使刀头底面有足够支承面积，往往需要使镗刀刀尖高于工件中心 Δh 值，一般取 $\Delta h=1/20D$（工件孔径）或更大一些，使切削时镗刀的工作前角减小，工作后角增大，所以在选择镗刀头的前、后角时，要相应地增大前角，减小后角。

6.4.2　精镗刀

精镗刀应用于孔的精加工场合，能获得较高的直径、位置精度和较低的表面粗糙度值。为了在孔加工中能获得更高的精度，一般精镗刀采用的都是单刃形式，刀头带有微调结构，以获得更高的调整精度和调整效率。根据其结构，精镗刀可分为整体式精镗刀、模块式精镗刀和小径精镗刀，均广泛地使用于数控铣床，镗床和加工中心上。

1. 整体式精镗刀

整体式精镗刀（见图6-29）主要用在批量产品的生产线，但实际上刀柄规格有 NT、MT、BT、IV 、CV 、DV 等多种多样，即使规格一样，大小、拉钉或者法兰面形状也有不同，这些都使得整体式镗刀在应用上相对较少。

2. 模块式精镗刀

模块式精镗刀如图 6-30 所示。可将镗刀分为：基础柄、延长杆、变径杆、镗头、刀片座等多个部分，然后根据具体的加工内容（粗镗、精镗；孔的直径、深度、形状；工件材料等）进行自由组合。这样不但大大地减少了刀柄的数量，降低了成本，也可以迅速对应各种加工要求，并延长刀具整体的寿命。现在市场上存在着各种各样的模块式镗刀系统，它们的连接方式各有区别，图 6-31 所示为山特维克双刃模块镗刀组合示意图。



图 6-29　整体式精镗刀



图 6-30　模块式精镗刀

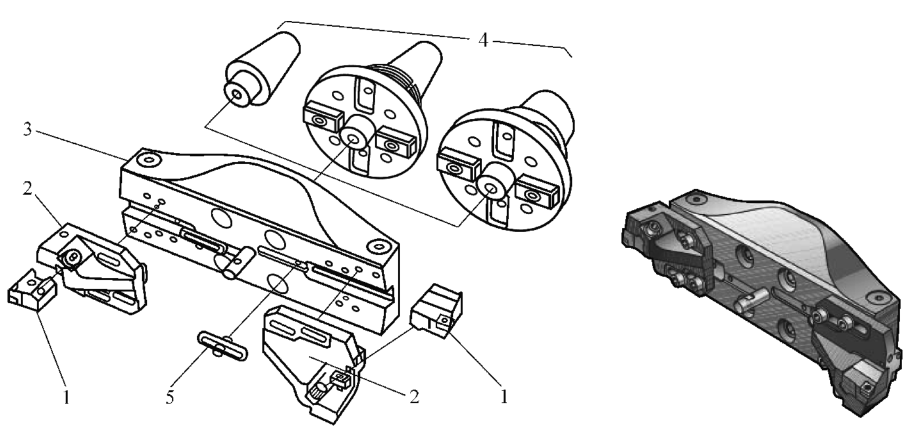


图 6-31　山特维克双刃模块镗刀组合示意图

1—刀卡　2—滑块　3—桥式滑块　4—刀柄　5—挡块组件

3. 小径精镗刀



图 6-32　小径精镗刀

小径精镗刀（见图 6-32）是通过更换前部刀杆和调整刀杆偏心获得调整直径目的的。由于调整范围广，且可加工小径孔，所以在工模具和产品的单件、小批量生产中得以广泛的应用。这种刀具的特点是：

1）通过更换不同的刀杆，可以加工 $\phi 8\sim 50\text{mm}$ 的孔，可调范围大，所以成本较低。

2）对于长径比较大的孔，可采用钨钢防震刀杆进行加工。

3）对于 $\phi 20\text{mm}$ 以上的孔，由于其刚性和稳定性不如模块式镗刀，所以如果在批量生产的情况下，尽量使用模块式镗刀。

6.5　铰刀

铰刀是对中小直径孔进行半精加工和精加工的刀具，刀具齿数多，槽底直径大、导向性及刚性好，铰孔加工精度可达 IT7 ~ IT6 级，甚至 IT5 级。表面粗糙度值 Ra 可达 1.6 ~ 0.4μm，所以得到了广泛的应用。铰刀的种类较多，按不同的分类方式，铰刀分类如下：

- 铰刀
  - 按被加工孔的形状分
    - 加工圆柱孔用的铰刀
    - 加工锥孔用的铰刀
    - 加工台阶复合孔用的铰刀
    - 加工特定型面用的铰刀
  - 按使用方式分
    - 手用铰刀
    - 机用铰刀
  - 按装夹连接方式分
    - 直柄铰刀
    - 锥柄铰刀
    - 套式铰刀
  - 按切削部分材料或结构分
    - 整体式工具钢制铰刀
    - 整体式焊接硬质合金刀片的铰刀
    - 机夹硬质合金刀片铰刀
    - 可调式铰刀

各种分类又是互相交叉，比如图 6-33b 所示的锥柄机用铰刀，按装夹连接方式为锥柄铰刀，按使用方式为机用铰刀。

6.5.1　高速钢铰刀

图 6-34 所示为铰刀的典型结构，它有刀体、颈部和刀柄所组成。刀体又可

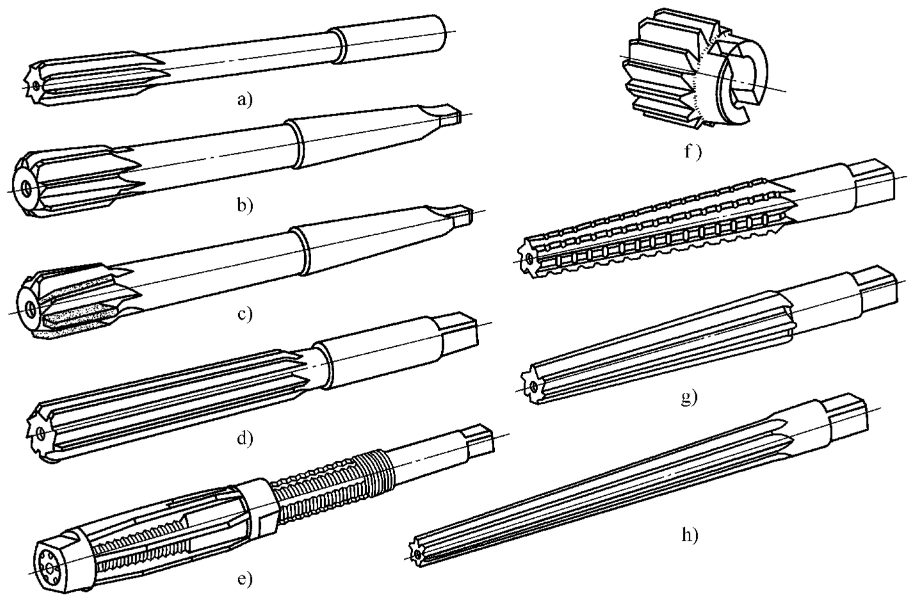


图 6-33　铰刀基本类型

a）直柄机用铰刀　b）锥柄机用铰刀　c）硬质合金锥柄机用铰刀　d）手用铰刀　e）可调节手用铰刀　f）套式机用铰刀　g）直柄莫氏锥度铰刀　h）手用 1∶50 锥度销子铰刀

分为切削部分和校准部分。在刀体最前端有导锥，导锥顶角 $2\phi=90°$，即图 6-34 中 C（0.5～2.5），其功能是便于将铰刀引入孔中和保护切削刃。切削部分为主偏角 κ_r 所形成的锥体，起主要的切削作用，主偏角 κ_r 的大小影响导向、切削厚度和径向与轴向切削力的大小。κ_r 越小，轴向力越小、导向性越好，但切削厚度越小、径向力越大、切削锥部越长。一般手用铰刀 $\kappa_r=30'\sim1°30'$；机用铰刀加工钢等韧性材料时 $\kappa_r=12°\sim15°$，加工铸铁等脆性材料时 $\kappa_r=3°\sim5°$；而加工不通孔用铰刀，为减少孔底圆锥部长取 $\kappa_r=45°$。

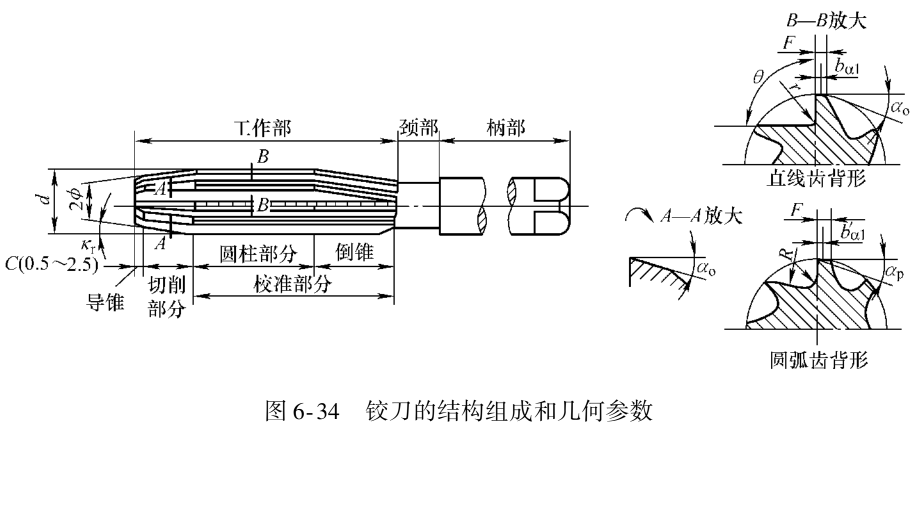


图 6-34　铰刀的结构组成和几何参数

校准部分其功能是校准、导向、熨压和刮光。为此，校准部分后面留有 $b_{\alpha1}=0.2\sim0.4$mm 的刃带，同时也为保证铰刀直径尺寸精度及各齿较小的径向圆跳动误差。为减轻校准部分与孔壁的摩擦和孔径扩大，校准部分的一段或全部制成倒锥形，其倒锥量为（0.005 ~0.006)/100。

由于铰孔余量很小，切屑很薄，前角作用不大，一般多取 $\gamma_o=0°$。加工韧性高的金属时，为减小切屑变形也可取 $\gamma_o=5°\sim10°$。铰刀的后角一般取 $\alpha_o=6°\sim8°$。从切削厚度来看，好像后角应取再大一些，但是当后角取大时，切削部分与校准部分交接处（刀尖）的强度、散热条件变差，初期使用铰孔质量好，但刀尖很快钝化，加工质量反而降低，同时也使重磨量加大，故后角取较小值，而且后角取较小值有利于增加阻尼，避免振动。

6.5.2　硬质合金铰刀

采用硬质合金铰刀可提高切削速度、生产率和刀具寿命，特别是加工淬火钢、高强度钢及耐热钢等难加工材料时，其效果更显著。

（1）无刃硬质合金铰刀　无刃硬质合金铰刀实际不是切削刀具，它是采用冷挤压的方式工作，以减小工件孔的表面粗糙度值和提高孔壁硬度，从而使孔有较好的耐磨性，这种铰刀只适用于铰削铸铁件。图 6-35 所示为无刃硬质合金铰刀，其特点 $\gamma_o=60°$，$\alpha_o=4°\sim6°$，刃带 $b_{\alpha1}=0.25\sim0.5$mm。由于铰削是挤压过程，故余量很小，$\alpha_p=0.03\sim0.05$mm。铰孔前，孔的公差等级要达到 IT7，表面粗糙度值也应达 *Ra*3.2μm。铰后可获得 *Ra*0.63 ~1.25μm 的表面粗糙度值。铰孔完毕应使刀具反转退出，以免划伤工件表面。铰刀的制造精度要求很高，柄部与工作部分外圆同轴度误差应小于 0.01mm，挤压刃处表面粗糙度值应达 *Ra*0.1μm。锥面与校准部分要用油石背光，且注意保养，刃口不能起毛。

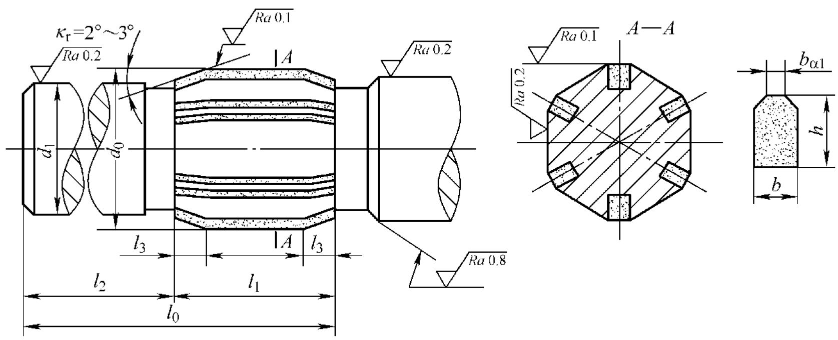


图 6-35　无刃硬质合金铰刀

（2）可转位单刃铰刀　可转位单刃铰刀如图 6-36 所示，刀片 3 通过双头螺栓 1 和压板 4 固定在刀体 5 上，用两只调节螺钉 6 和顶销 7 调节铰刀的尺寸，8

为刀片轴向限位销，导向块 2 焊接在刀体槽内。刀具切削部分为两段，主偏角 $\kappa_r=15°\sim45°$，刃长为 1～2mm 的切削刃切去大部分余量。$\kappa_r=3°$的斜刃及圆柱校准部分作精铰。导向块起导向、支承和挤压作用。两块导向块相对刀齿位置角为：84°、180°；三块时为：84°、180°、276°。导向块尖端相对于切削刃尖端沿轴向滞后 0.3～0.6mm，以保证有充分挤压量，导向块直径应与铰刀直径有一差值。可转位单刃铰刀不但可调整直径尺寸，也可调整其锥度。刀片可转位一次，刀体可重复使用。它不仅能获得高的加工精度，小的表面粗糙度值，更主要的是能消除孔的多边形，提高孔的质量。铰孔的圆度为 0.003～0.008mm，圆柱度为 0.005mm/100mm。

目前可转位单刃铰刀加工直径范围为 5～80mm。加工 45 钢时，$\alpha_p=0.15$mm，$f=0.1\sim0.4$mm/r，$v_c=12$m/min，采用 1∶9 乳化切削液进行冷却。可转位单刃铰刀结构复杂，制造困难，价格昂贵。

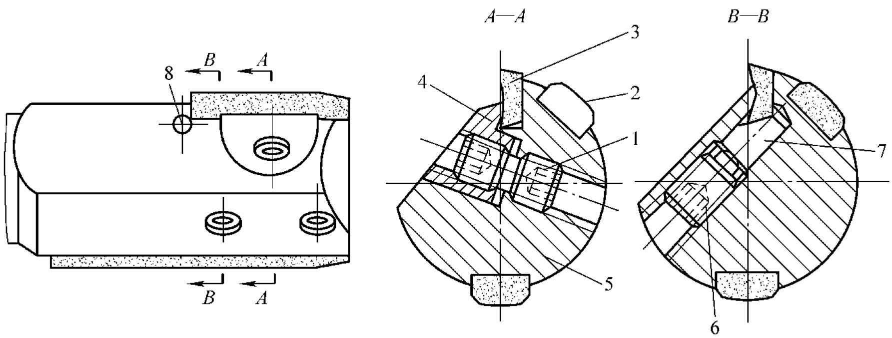


图 6-36 可转位单刃铰刀

1—双头螺栓 2—导向块 3—刀片 4—压板 5—刀体 6—调节螺钉 7—顶销 8—限位销

6.5.3 铰刀的选择

1. 直径及其公差 *G*

铰刀是定尺寸刀具，直径及其公差的选取主要取决于被加工孔的直径及其精度，同时，也要考虑铰刀的使用寿命和制造成本。铰刀的公称直径 d_0 是指校准部分中圆柱部分的直径，它应等于被加工孔的基本尺寸 d_{ww}，而其公差则与被铰削孔的公差、铰刀的制造公差、铰刀的磨损储备量 H 和铰削过程中孔径的变形性质有关。根据加工中孔径的变形性质不同，铰刀的直径确定方法如下：

（1）加工后孔径扩大 铰孔时，由于机床主轴间隙产生的径向圆跳动，铰刀刀齿的径向圆跳动、铰孔余量的不均匀而引起的颤动、铰刀的安装偏差、切削液和积屑瘤等因素的影响，会使铰出的孔径大于铰刀校准部分的外径，即产生孔

径扩张。这时，铰刀直径的极限尺寸可由下列公式计算

$$d_{0\max}=d_{\max}-P_{\max}$$
$$d_{0\min}=d_{\max}-P_{\max}-G$$

式中　$d_{0\max}$——铰刀的最大极限尺寸；

$d_{0\min}$——铰刀的最小极限尺寸；

$P_{\max}$——铰孔时孔的最大扩张量。

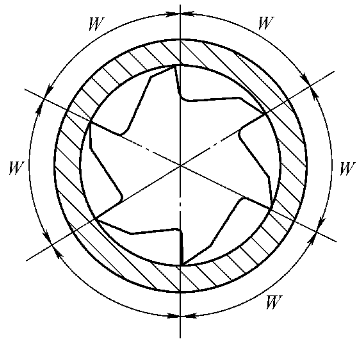
（2）加工后孔径缩小　铰削力较大或工件孔壁较薄时，由于工件的弹性变形或热变形的恢复，铰孔后孔径常会缩小。这时选用的铰刀的直径应增大一些，可按下列公式计算

$$d_{0\max}=d_{\max}+P_{\min}$$
$$d_{0\min}=d_{\max}+P_{\max}-G$$

式中　$P_{\min}$——铰孔后孔直径的最小收缩量。

2. 齿数 z 及齿槽形

（1）齿数　铰刀齿数一般为 4～12 个。在铰削进给量一定时，若增加铰刀的齿数，则每齿的切削厚度减小，导向性好，刀齿负荷轻，铰孔质量高。但齿数过多，也会使刀齿强度降低，容屑空间减小，通常是在保证刀齿强度和容屑空间的条件下，选取较多的齿数。铰刀的齿数和铰刀的直径及加工材料的性质有关。大直径铰刀取较多齿数；加工韧性材料取较小齿数；加工脆性材料取较多齿数。为了便于测量直径，铰刀齿数一般取偶数。刀齿在圆周上一般为等齿距分布。在某些情况下，为避免周期性切削载荷对孔表面的影响，也可选用不等齿距结构，手用铰刀常采用不等齿距分布，为了便于制造和测量，做成对顶齿间角相等的不等齿距分布，图 6-37 所示为等齿距和不等齿距分布图。



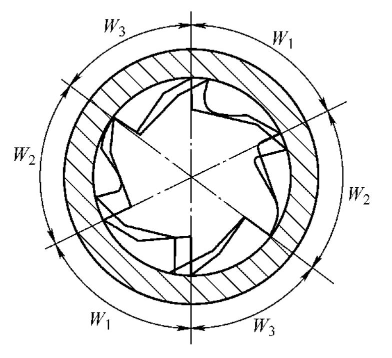


图 6-37　齿距分布

a）等齿距分布　b）不等齿距分布

（2）铰刀的齿槽形式　铰刀的齿槽形式有直线形、折线形和圆弧形三种。直线形齿槽形状简单，齿槽可用单角铣刀一次铣出，制造容易，一般用于 d_0 = 1～20mm 的铰刀，如图 6-38a 所示。圆弧形齿槽具有较大的容屑空间和较好的刀齿强度，齿槽用成形铣刀铣出，一般用于 d_0 大于 20mm 的铰刀，如图 6-38b 所示。折线形齿槽常用于硬质合金铰刀，以保证硬质合金刀片有足够的刚性支撑面和刀齿强度，如图 6-38c 所示。

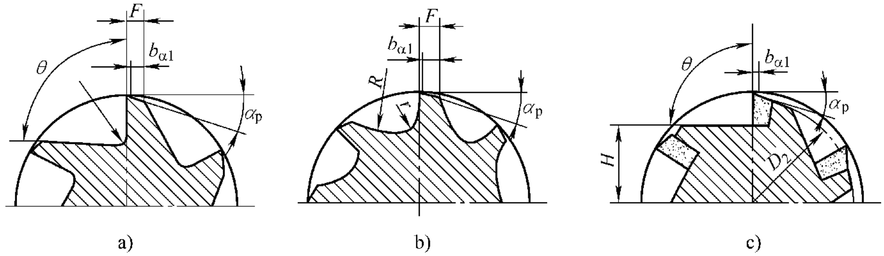


图 6-38　铰刀的齿槽形式

a）直线齿背　b）圆弧齿背　c）折线齿背

铰刀齿槽方向有直槽和螺旋槽两种。直槽铰刀刃磨、检验都比较方便，生产中较常用。螺旋槽铰刀切削过程平稳，其旋向有左旋和右旋两种（图 6-39），右旋槽铰刀在切削时切屑向后排出，适用于加工盲孔；左旋槽铰刀在切削时切屑向前排出，适用于加工通孔。螺旋槽铰刀的螺旋角根据被加工材料选取：加工铸铁时取 7°～8°；加工钢件时取 12°～20°；加工铝等轻金属时取 35°～45°。

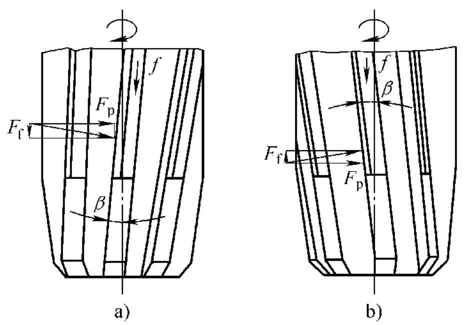


图 6-39　铰刀的旋向

a）右旋　b）左旋

第 7 章　数控工具系统

7.1　概述

7.1.1　数控加工中的刀具快换

数控加工的重要原则是在满足自动化生产要求的前提下，尽可能通过标准化、系列化、模块化的途径，提高数控刀具的通用化程度。这不仅便于刀具的组装、预调、使用和管理，而且有利于数控切削数据库的建立。因此，建立包括刀头、刀夹、刀杆和刀座在内的刀具快换结构体系十分重要。目前数控加工中常用的刀具快换方式按更换元件的不同分为四种，如图 7-1 所示。表 7-1 列出刀具快换方式的比较。

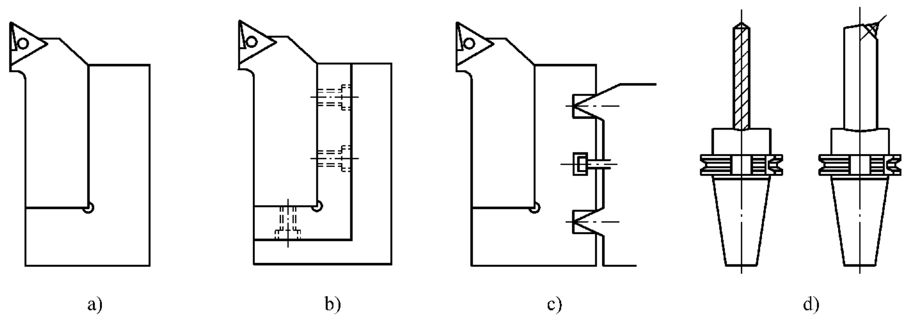


图 7-1　刀具快换方式

a）刀片快换　b）刀具快换　c）刀夹快换　d）刀柄快换

表 7-1　刀具快换方式的比较

更换方式	主要优点	主要缺点	适用方式
刀片快换	1. 被更换的元件小，轻便 2. 不需要机外对刀装置 3. 可减少刀杆的周转量	1. 要用精密级可转位刀片 2. 换刀精度低 3. 机床工作空间较小时，刀片的拆装及刀片槽的清理不便	数控车床和自动线的个别工序以及多刀加工机床

（续）

更换方式	主要优点	主要缺点	适用方式
刀具快换	1. 可用普通级可转位刀片 2. 换刀精度较高 3. 换刀轻便、快 4. 占空间较小，有利于多刀加工	1. 刀具上要有调整装置 2. 一般情况下，刀具要专门设计制造 3. 需要机外对刀装置	主要用在自动线上，尤其是多刀加工的机床或工序
刀夹快换	1. 刀杆的精度要求较低，可用标准刀杆 2. 能适用于多品种加工 3. 换刀精度高，便于自动换刀 4. 同类型机床上刀夹可以通用 5. 便于刀夹系列化、标准化和专业化生产 6. 便于调整刀具的中心高	1. 被更换的元件体积大，使用范围受到限制 2. 刀夹的设计、制造复杂且要求的精度较高 3. 机外对刀装置也较为复杂 4. 影响刀架系统刚性	主要用于数控机床工序间的换刀，也可用于自动线上
刀柄快换	1. 便于使用标准刀具 2. 同类型机床上刀柄可以通用，便于刀柄的系列化、标准化和专业化生产	1. 刀具与刀柄的连接往往要用莫氏锥套等中间环节，影响刀具的定位精度和刚性 2. 锥柄的精度要求高，制造起来比直柄困难 3. 需要专门的机外对刀装置	用于加工中心工序间的换刀及自动线的孔加工

7.1.2　数控工具系统概念

工具系统是针对数控机床要求与之配套的刀具高速快换和高效切削而发展起来的，它是刀具与机床的接口。它除了刀具本身外，还包括实现刀具快换所必需的定位、夹紧、抓拿及刀具保护等机构。数控机床工具系统除具备普通工具的特性外，主要有以下要求：

1）较高的换刀精度和定位精度。

2）为提高生产率，需要使用高的切削速度，因此刀具寿命要求较高。

3）数控加工常常大进给量，高速强力切削，要求工具系统具有高刚性。

4）工具系统的装卸、调整要方便。

5）标准化、系列化和通用化，“三化”便于刀具在转塔及刀库上的安装，简化机械手的结构和动作，还能降低刀具制造成本，减少刀具数量，扩展刀具的适用范围，有利于数控编程和工具管理。

数控工具系统按使用的范围可分为镗铣类数控工具系统和车削类数控工具系统；按系统的结构特点可分为整体式工具系统和模块式工具系统。其中，模块式工具系统又可根据其模块连接结构的不同分为各种不同模块式工具系统。

由于各种工具系统应用的目的基本相同，因此，各种工具系统的组成部分也大同小异。在本章中，关于数控工具系统的组成部分将侧重镗铣类数控机床工具系统的详细介绍，而车削类数控机床工具系统由于结构相对简单只作简要说明。

7.1.3　机床与工具系统的接口

数控机床与工具系统连接部分的结构简称为机床与工具系统的接口（见图 7-2），除工具系统与机床主轴接口外，还有刀具与工具系统的连接接口。加工中心和数控镗铣床与工具系统最主要的接口是 7∶24 锥度接口。由于历史原因，各国在最初设计 7∶24 圆锥柄时，在锥柄尾部的拉钉和锥柄前端凸缘结构（包括机械手夹持槽、键槽和方向识别槽）的选择上各不相同，并且形成了各自的标准。虽然现在已经有了相应的国际标准，但是，某些国家标准应用得仍然相当普遍，如：日本标准（MAS 403—1982 和 JIS B6339—1998）、德国标准（DIN 69871－1—1995）、美国标准（ASME B5. 50—1995）等。

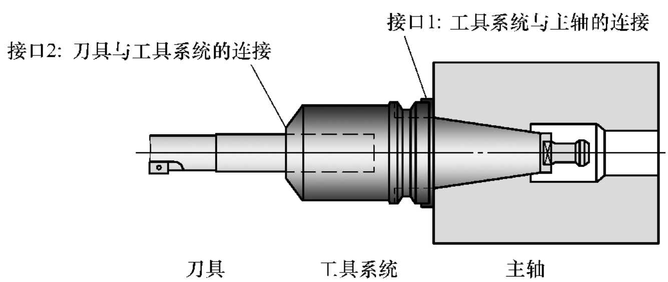


图 7-2　工具系统与机床主轴及刀具的接口

车削中心和数控车床与工具系统的接口应用最普遍的是德国标准（DIN 69880—2005 系列标准）。进入 20 世纪 80 年代，国际上出现了几种很有影响的接口，如瑞典山特维克（Sandvik）公司的 BTS 工具系统的接口、美国肯纳（Kennametal）公司的 KM 工具系统的接口等。

7.2 镗铣类数控机床工具系统的接口及其标准

目前在镗铣类数控机床中，工具系统的接口标准大致可以分成两类：一是采用7∶24 大锥度、长锥柄结构，以保持刀体的良好强度及较高的动态径向刚度，在原有锥柄结构基础上进行改进，例如 BT 刀柄、BIG－PLUS 刀柄等；二是改变锥柄锥度的结构设计，典型的结构是采用 1∶10 锥度和 1∶20 锥度的锥柄结构设计，如 HSK 刀柄、KM 刀柄等。

7.2.1 锥度为 7∶24 的通用刀柄

1. 锥度为 7∶24 的通用刀柄配合原理

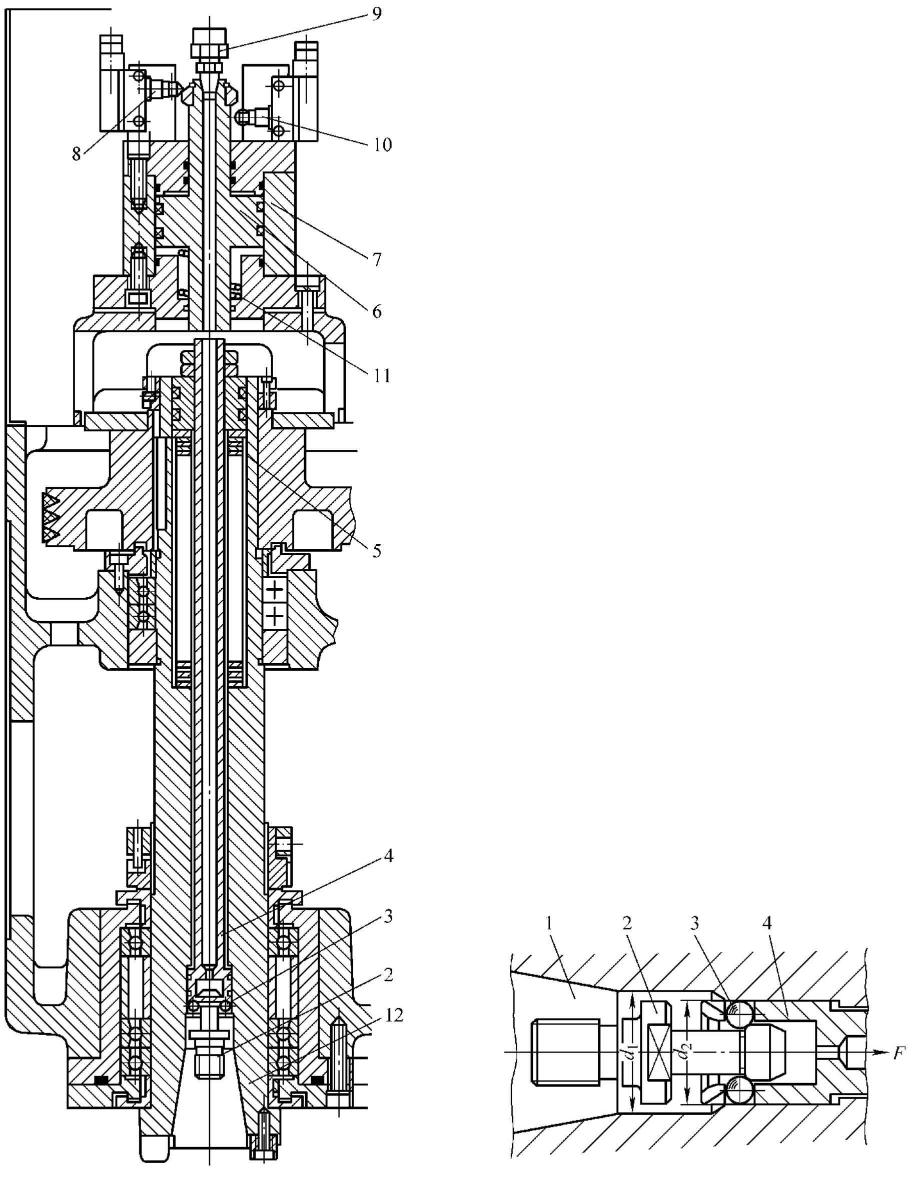
锥度为7∶24 的通用刀柄配合原理如图 7-3 所示。刀具装在刀柄 1 上，刀柄 1 以 7∶24 的锥度在主轴前端的孔中定位，并通过拉钉 2 拉紧。夹紧刀柄时，液压缸 7 的缸腔接通回油路，弹簧 11 推动活塞 6 上移，拉杆 4 在碟形弹簧 5 作用下向上移动。此时装在拉杆前端径向孔中的四个钢珠 3 进入主轴孔中直径较小的 d_2 处，被迫径向收拢卡进拉钉 2 的环形凹槽内，刀柄被拉杆拉紧。切削扭矩由端面键传递。自动换刀前需将刀柄松开，压力油进入液压缸 7 的上腔，活塞 6 推动拉杆 4 向下移动，碟形弹簧被压缩。钢珠 3 随拉杆一起下移进入主轴孔径较大的 d_1 处时，它就不再约束拉钉的头部，紧接着拉杆前端内孔的台肩端面 a 碰到拉钉，把刀柄顶出。此时压缩空气由压缩空气管接头 9 经活塞和拉杆的中心通孔清洁主轴装刀孔。夹紧和松开刀柄时，行程开关 8 和 10 发出信号。

2. 7∶24 锥度的通用刀柄标准和规格

7∶24 锥度的通用刀柄通常有五种标准和规格，即 NT（传统型）、DIN 69871（德国标准）、ISO 7388－1（国际标准）、MAS BT（日本标准）及 ANSI/ASME（美国标准）。NT 型刀柄德国标准为 DIN 2080，是在传统型机床上通过拉杆将刀柄拉紧，国内也称为 ST，ST 锥柄标准形式见表 7-2。其他四种刀柄均是在加工中心上通过刀柄尾部的拉钉将刀柄拉紧。

目前国内使用最多的是 DIN 69871 型（即 JT）和 MAS BT 型两种刀柄。DIN 69871 型的刀柄可以安装在 DIN 69871 型和 ANSI/ASME 主轴锥孔的机床上，ISO 7388－1 型的刀柄可以安装在 DIN 69871 型、ISO 7388－1 和 ANSI/ASME 主轴锥孔的机床上，所以就通用性而言，ISO 7388－1 型的刀柄是最好的。

（1）DIN 2080 型　DIN2080 型简称 NT 或 ST，是德国标准，即国际标准 ISO 2583，是我们通常所说 ST 型刀柄，它不能用机械手装刀，只能手动装刀。



a)　　b)

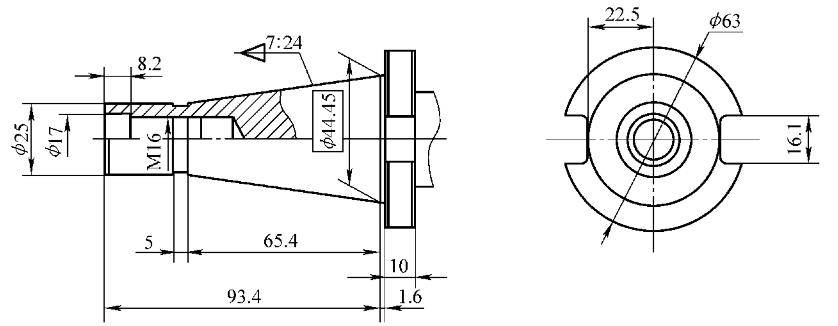
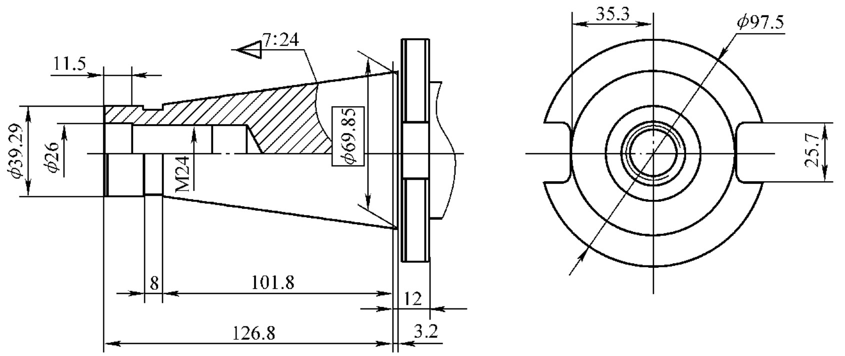
图 7-3　7∶24 的通用刀柄配合原理

a）工作原理　b）拉钉拉紧刀柄局部放大图

1—刀柄　2—拉钉　3—钢珠　4—拉杆　5—碟形弹簧　6—活塞　7—液压缸　8、10—行程开关

9—压缩空气管接头　11—弹簧　12—主轴

表 7-2　ST 锥柄标准形式

<table>
<tr><th>型号</th><th>DIN 2080</th></tr>
<tr><td>ST40</td><td>
</td></tr>
<tr><td>ST50</td><td>
</td></tr>
</table>

（2）国际标准、德国标准、中国标准锥柄及拉钉　国际标准锥柄 ISO 7388－1型（简称 JT）其刀柄安装尺寸与德国标准锥柄 DIN 69871 型没有区别，只是 ISO 7388－1 型刀柄的 D4 值小于 DIN 69871 型刀柄的 D4 值，所以将 ISO 7388－1 型刀柄安装在 DIN 69871 型锥孔的机床上是没有问题的，但将 DIN 69871 型刀柄安装在 ISO 7388－1 型机床上则有可能会发生干涉。我国自动换刀机床用 7∶24 圆锥工具柄部国标（GB 10944.1—2006）规定的 40、45 和 50 号刀柄，在形式、尺寸上与国际标准 ISO 7388－1 完全相同，详见表 7-3。

（3）日本标准锥柄　MAS BT 型（简称 BT）是日本标准，安装尺寸与 DIN 69871、ISO 7388－1 及 ANSI 完全不同，不能换用。但相比来说，BT 型刀柄的对称性结构使它比其他三种刀柄的高速稳定性要好一些。表 7-4 所示为 BT 锥柄标准形式。

表 7-3　JT 锥柄标准形式

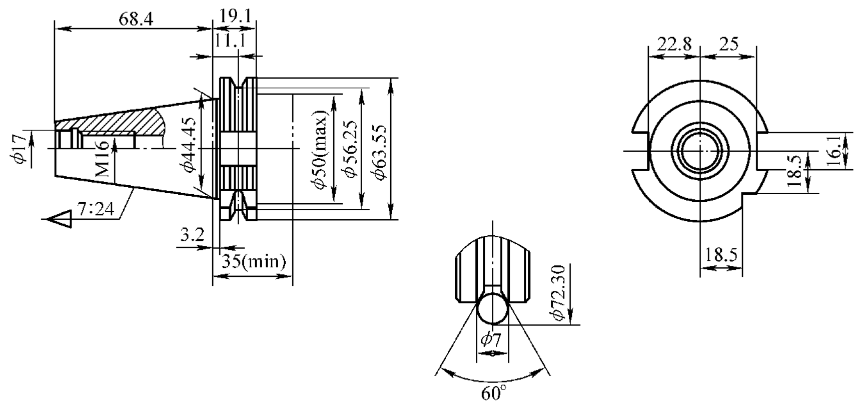
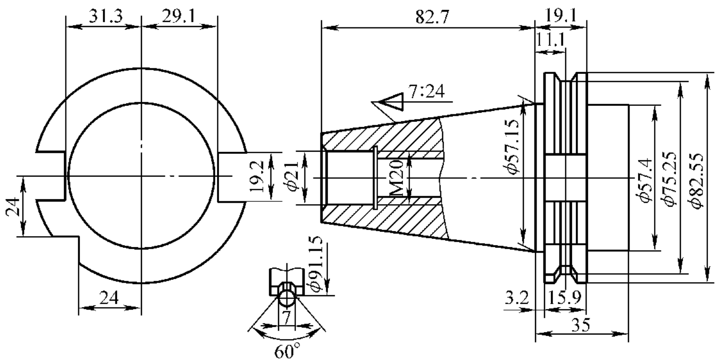
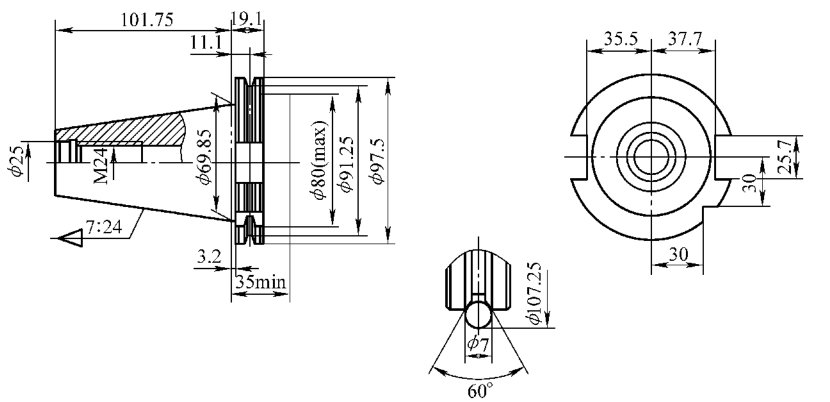
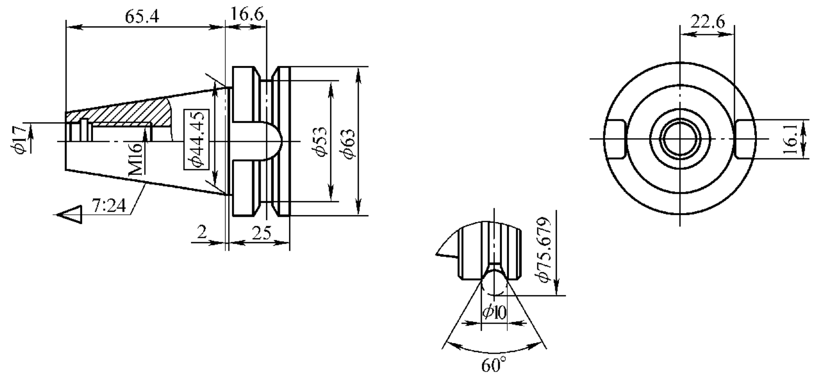
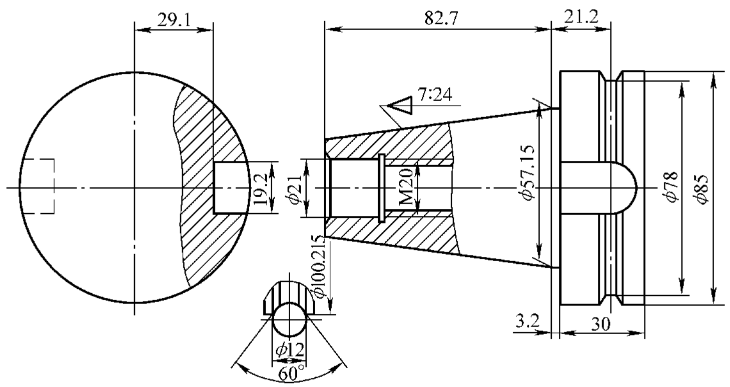
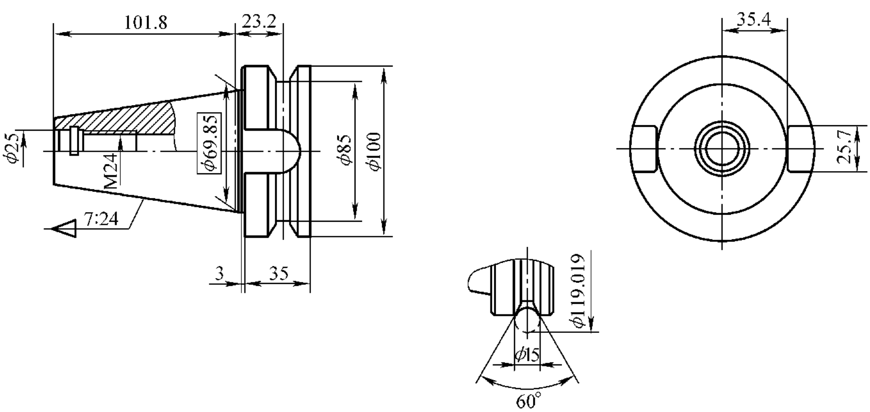
<table>
<tr><th>型号</th><th>国际标准 ISO 7388－1－A、德国标准 DIN 69871－A、中国标准 GB/T 10944—2006</th></tr>
<tr><td>JT40</td><td>
</td></tr>
<tr><td>JT45</td><td>
</td></tr>
<tr><td>JT50</td><td>
</td></tr>
</table>

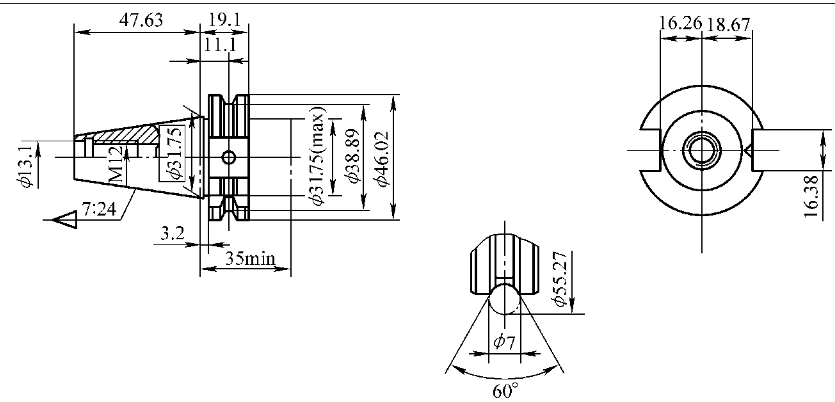
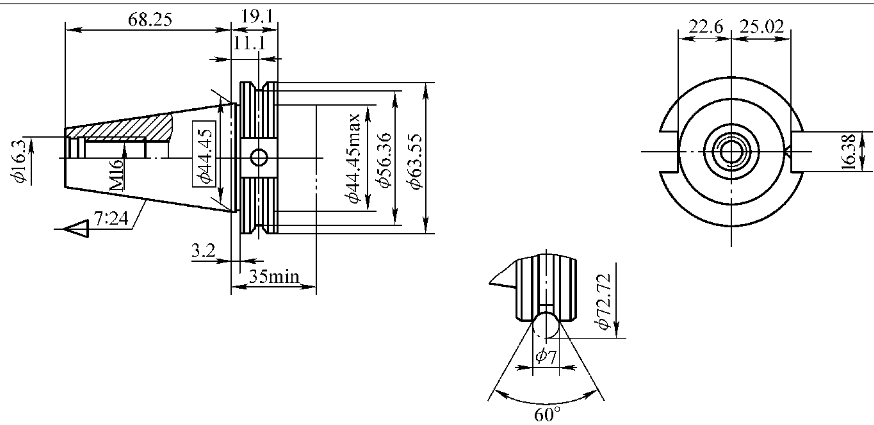
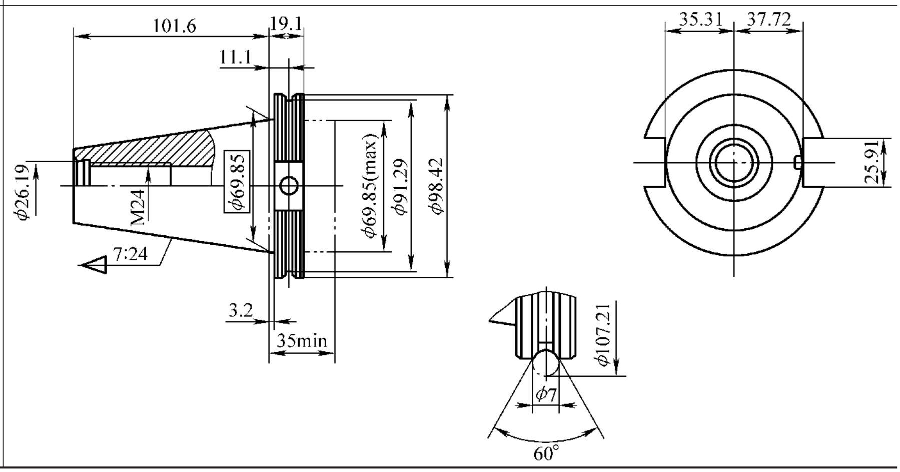
表 7-4　BT 锥柄标准形式

型号	日本标准 MAS 403 BT
BT40	
BT45	
BT50	

（4）美国标准锥柄　美国标准锥柄 ANSI B5.50 型（简称 CAT），安装尺寸与 DIN 69871、ISO 7388－1 类似，但由于少一个楔缺口（机械手夹持槽），所以 ANSI B5.50 型刀柄不能安装在 DIN 69871 和 ISO 7388－1 机床上，但 DIN69871

和 ISO 7388 –1 刀柄可以安装在 ANSI B5. 50 型机床上。表 7-5 所示为 CAT 锥柄标准形式。

表 7-5　CAT 锥柄标准形式

型号	ANSI B5. 50CAT
CAT30	
CAT40	
CAT50	

3. 工具系统拉钉有关标准

（1）ISO 标准 A 型拉钉　如图 7-4 所示，标准号 ISO 7388/2 – A，配用 JT 型刀柄，常用型号尺寸见表 7-6。

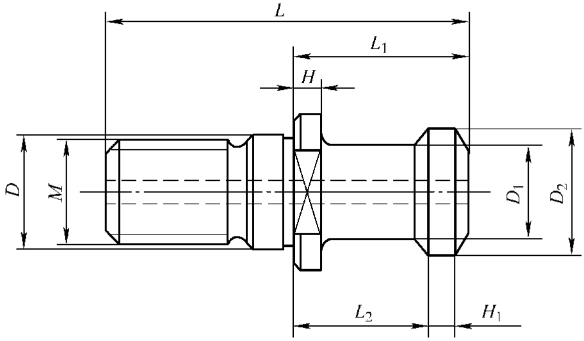




图 7-4　ISO 标准 A 型拉钉

表 7-6　ISO 标准 A 型拉钉尺寸　（单位：mm）

柄部	D	D_1	D_2	M	L	L_1	L_2	H	H_1
40	17	14	19	16	54	26	20	4	4
45	21	17	23	20	65	30	23	5	5
50	25	21	28	24	74	34	25	6	7

（2）ISO 标准 B 型拉钉　如图 7-5 所示，标准号 ISO 7388/2 – B，配用 JT 型刀柄，B 型拉钉尺寸见表 7-7。

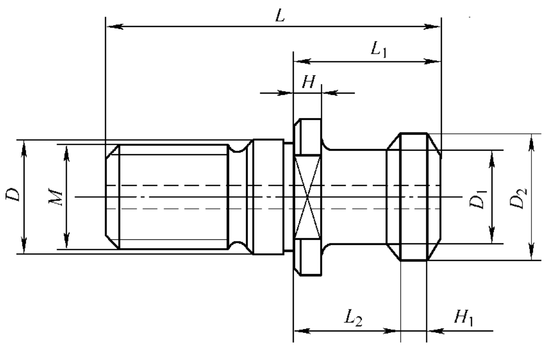




图 7-5　ISO 标准 B 型拉钉

表 7-7　ISO 标准 B 型拉钉尺寸　（单位：mm）

柄部	D	D_1	D_2	M	L	L_1	L_2	H	H_1
40	17	12.9	18.9	16	44.5	16.4	11.1	3.2	1.7
45	21	16.3	24.0	20	56.0	20.9	14.8	4.2	2.2
50	25	19.6	29.1	24	66.5	25.5	17.9	5.2	2.7

（3）日本准标 MAS 403 拉钉　如图 7-6 所示，标准配用 BT 型刀柄，MAS 403 拉钉尺寸见表 7-8。

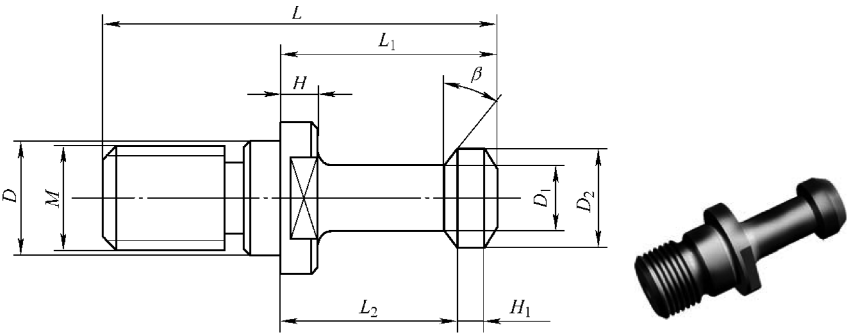


图 7-6　日本标准 MAS 403 拉钉

表 7-8　日本标准 MAS 403 拉钉尺寸　　（单位：mm）

柄部	D	D_1	D_2	M	L	L_1	L_2	H	H_1	β
40	17	10	15	16	60	35	28	6	3	45°
45	21	14	19	20	70	40	31	8	4	45°
50	25	17	23	24	85	45	35	10	5	45°

（4）德国标准 DIN 69872 拉钉　如图 7-7 所示，标准配用 JT 型刀柄，DIN 69872 拉钉尺寸见表 7-9。

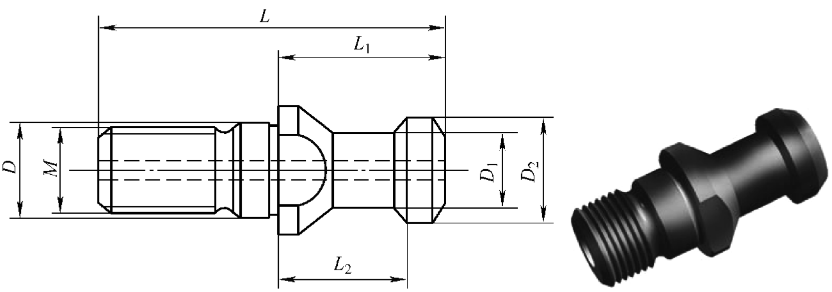


图 7-7　德国标准 DIN 69872 拉钉

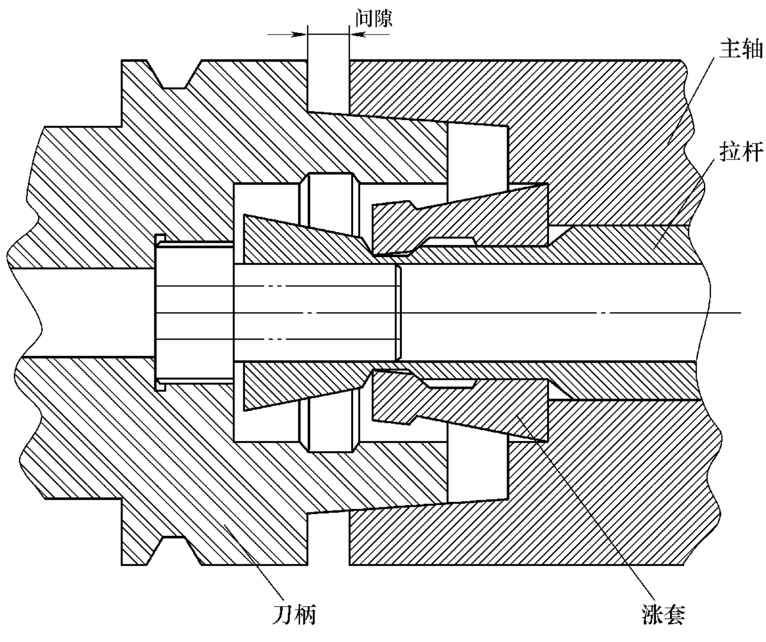
表 7-9　德国标准 DIN 69872 拉钉尺寸　　（单位：mm）

柄部	D	D_1	D_2	M	L	L_1	L_2
40	17	14	19	16	54	26	20
45	21	17	23	20	65	30	23
50	25	21	28	24	74	34	25

7.2.2　锥度为 1∶10 的 HSK 刀柄

1. HSK 刀柄配合原理

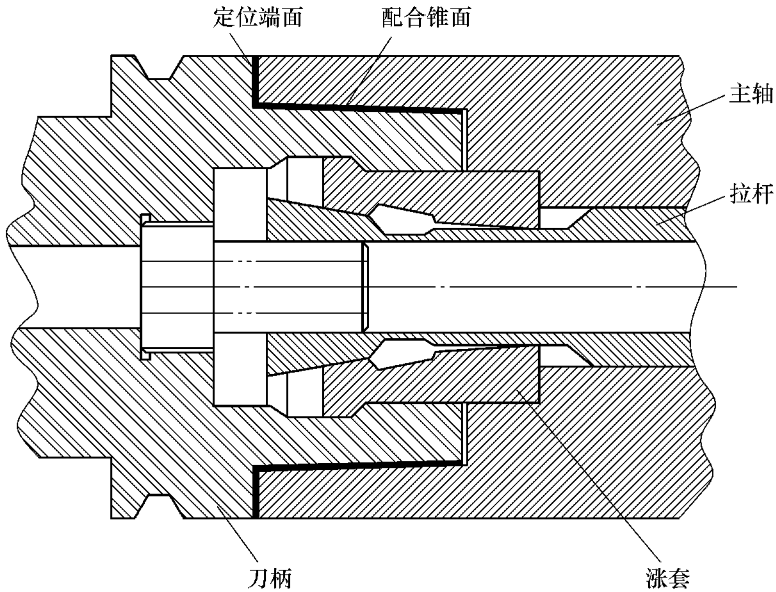
7∶24 的刀柄是靠刀柄的 7∶24 锥面与机床主轴孔的 7∶24 锥面接触定位连接的，在高速加工、连接刚性和重合精度三方面有局限性。为了适应高速加工，出现了锥度为 1∶10 的 HSK 真空刀柄。HSK 真空刀柄靠刀柄的弹性变形连接，在连接时不但刀柄的 1∶10 锥面与机床主轴孔的 1∶10 锥面接触，而且刀柄的法兰盘面与主轴面也紧密接触。HSK 刀柄的空心锥柄与主轴孔完全接触时，刀柄端面与主轴端面有约 0.1mm 间隙（见图 7-8a）。夹紧时，在夹紧机构的作用下拉杆向左移动，胀套胀开，胀套外锥面顶在空心锥柄内锥面上，拉动刀柄向左移动，空心锥柄产生变形，刀柄端面与主轴端面靠紧，实现了刀柄与主轴锥面和端面两面同时定位和夹紧（见图 7-8b）。



a)

图 7-8　HSK 刀柄配合原理

a）刀柄拉紧前



b)

图 7-8　HSK 刀柄配合原理（续）
b）刀柄拉紧后

HSK 刀柄的优点是：

1）锥面和端面同时接触定位，刀柄薄壁锥体会随高速时主轴锥孔的“胀大”而“胀大”，两者中间不会出现间隙，保证了轴向精度和刚度。

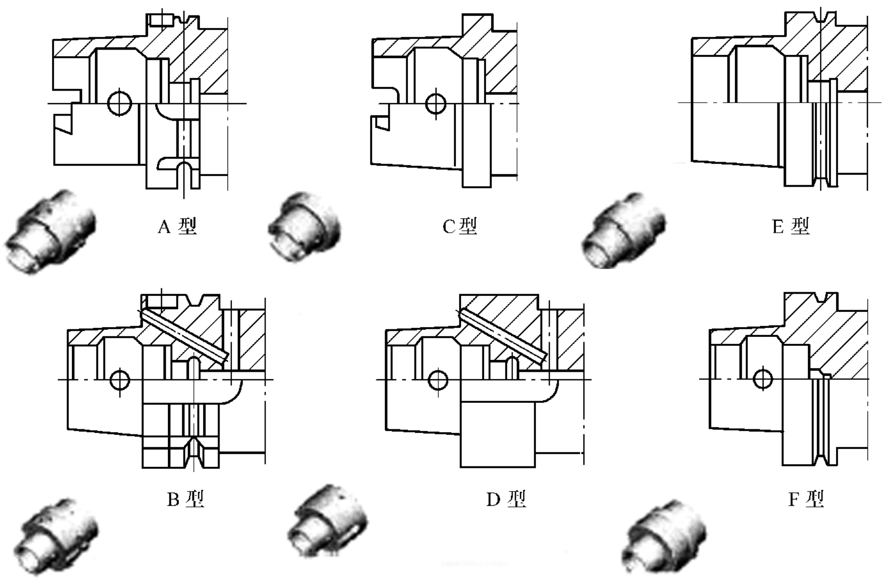
2）刀具拉杆爪在刀柄内打开，夹紧力将随着机床主轴转速的升高而加大，提高了装夹的安全与可靠性。

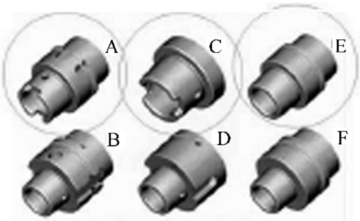
3）中空短锥刀柄减少了刀柄的重量和惯量，有利于主轴速度和加速度性能的提高。但是，这些改进同时也提高了对刀柄的制造精度的要求，从而也提高了刀柄的成本。

2. 刀柄的标准和规格

锥度 1∶10 的 HSK 真空刀柄是德国 DIN69873 标准，其有六种标准和规格，即 A 型、B 型、C 型、D 型、E 型、F 型。其特点和应用见表 7-10。A 和 C 型适用于中等的转矩，主轴转速中等或高速；B 和 D 型适用于大的转矩，主轴转速中等或高速；E 和 F 型适用于小的转矩，主轴转速较高。

表 7-10　HSK 六种结构形式的特点及应用





结构型式	特点及应用	结构型式	特点及应用	结构型式	特点及应用
A 型	自动/手动换刀；大的转矩；中到高转速；达到一定转速时，必须进行平衡	C 型	手动换刀；大的转矩；中到高转速；一般加工	E 型	自动换刀；无键连接，小的转矩；适合于超高速加工
B 型	自动/手动换刀；大的转矩；中到高转速；达到一定转速时，必须进行平衡	D 型	手动换刀；较大的转矩；中到高转速；车削加工	F 型	自动换刀；无键连接，较小的转矩；大的轴向力；软材料加工；适合于超高速加工

7.3　镗铣类数控机床工具系统

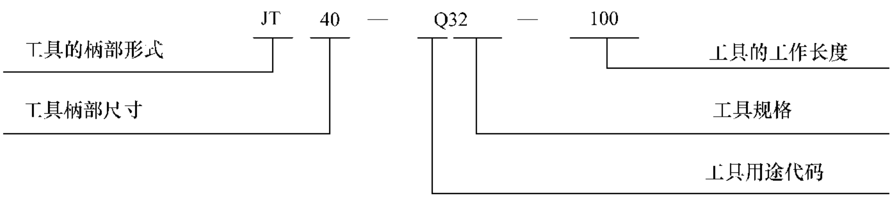
7.3.1　整体式工具系统

工具系统一般由与机床主轴连接柄部及夹持刀具的夹紧机构组成，整体式工具系统是指工具系统的柄部与夹持刀具的工作部分连成一体，要求不同工作部分都具有同样结构的刀柄，以便与机床的主轴相连。其优点是使用方便、可靠，缺点是刀柄数量多。

在我国镗铣类数控机床中，应用比较广泛的整体式工具系统是 TSG 工具系统。TSG 工具系统主要用于数控镗铣床、加工中心等数控机床。TSG 工具系统包含多种接长杆，连接镗铣刀柄，莫氏锥孔刀柄，钻夹头刀柄，攻螺纹夹头刀柄及钻孔、铰孔、扩孔等孔加工类刀柄和接杆，用于完成平面、斜面、沟槽、铣削、钻孔、铰孔、镗孔、攻螺纹等加工工序。TSG 工具系统具有结构简单、使用方便、装卸灵活、调换迅速的特点，是各种镗铣类数控设备不可缺少的工具。

1. TSG 工具系统中各种工具的型号

工具系统的型号由五部分组成，其表示方法如下：



（1）工具柄部形式　工具柄部一般采用 7∶24 圆锥柄。常用的工具柄部形式有 JT、BT 和 ST 等三种，它们可直接与机床主轴相连接。JT 表示采用国际标准 ISO 7388 制造的加工中心机床用锥柄柄部（带机械手夹持槽），柄部具体形状与尺寸见表 7-3；BT 表示采用日本标准 MAS403 制造的加工中心用锥柄柄部（带机械手夹持槽），柄部具体形状与尺寸见表 7-4；ST 表示按 GB3837 制造的数控机床用锥柄（无机械手夹持槽），柄部具体形状与尺寸见表 7-2。

镗刀类刀柄自己带有刀头，可用于粗、精镗。有的刀柄需要接杆或标准刀具，才能组装成一把完整的刀具；KH、ZB、MT、MTW 为四类接杆，接杆的作用是改变刀具长度。表 7-11 为 TSG 工具系统工具柄部的形式尺寸代号及含义。

表 7-11　TSG 工具系统工具柄部的形式尺寸代号及含义

形式尺寸代号	柄部尺寸代号含义
JT	表示采用国际标准 ISO 7388 制造的加工中心机床用锥柄柄部（带机械手夹持槽）。其后数字为相应的 ISO 锥度号，如 50、45 和 40 分别代表大端直径为 69.85mm、57.15mm 和 44.45mm 的 7:24 锥度
BT	表示采用日本标准 MAS403 制造的加工中心用锥柄柄部（带机械手夹持槽）。其后数字意义同上
ST	表示按 GB 3837 制造的数控机床用锥柄（无机械手夹持槽）。其后数字意义同上
MTW	表示无扁尾莫氏锥柄。其后数字为莫氏锥度号
MT	表示有扁尾莫氏锥柄。其后数字为莫氏锥度号
ZB	表示直柄接杆。其后数字表示其直径尺寸
KH	表示 7:24 锥柄接杆。其后数字为锥柄 ISO 代号

（2）工具用途代码　用代码表示工具的用途，如 XM 表示装面铣刀用刀柄。TSG82 工具系统用途代码和意义见表 7-12。

表 7-12　TSG82 工具系统用途代码和意义

代号	代号的含义	代号	代号的含义	代号	代号的含义
J	装接长杆用刀柄	KJ	用于装扩、铰刀	TF	浮动镗刀
Q	弹簧夹头	BS	倍速夹头	TK	可调镗刀
KH	7:24 锥度快换夹头	H	倒锪端面刀	X	装铣削刀具
Z	装钻夹头	T	镗孔刀具	XS	装三面刃铣刀
MW	装无扁尾莫氏锥柄刀具	TZ	直角镗刀	XM	装面铣刀
M	装有扁尾莫氏锥柄刀具	TQW	倾斜式微调镗刀	XDZ	装直角端铣刀
G	攻螺纹夹头	TQC	倾斜式粗镗刀	XD	装端铣刀
C	切内槽工具	TZC	直角式粗镗刀	XP	装削平型铣刀刀柄

（3）工具规格　用途代码后的数字表示工具的工作特性，其含义随工具不同而异，有些工具该数字为其轮廓尺寸 D 或 L；有些工具该数字表示应用范围；还有表示其他参数，如锥度号等。

（4）工作长度　表示工具的设计工作长度（锥柄大端直径处到端面的距离）。

2. TSG 工具系统图

图 7-9 为 TSG 工具系统图。该图表明了 TSG 工具系统中的各种工具的组合形式，供选用时参考。

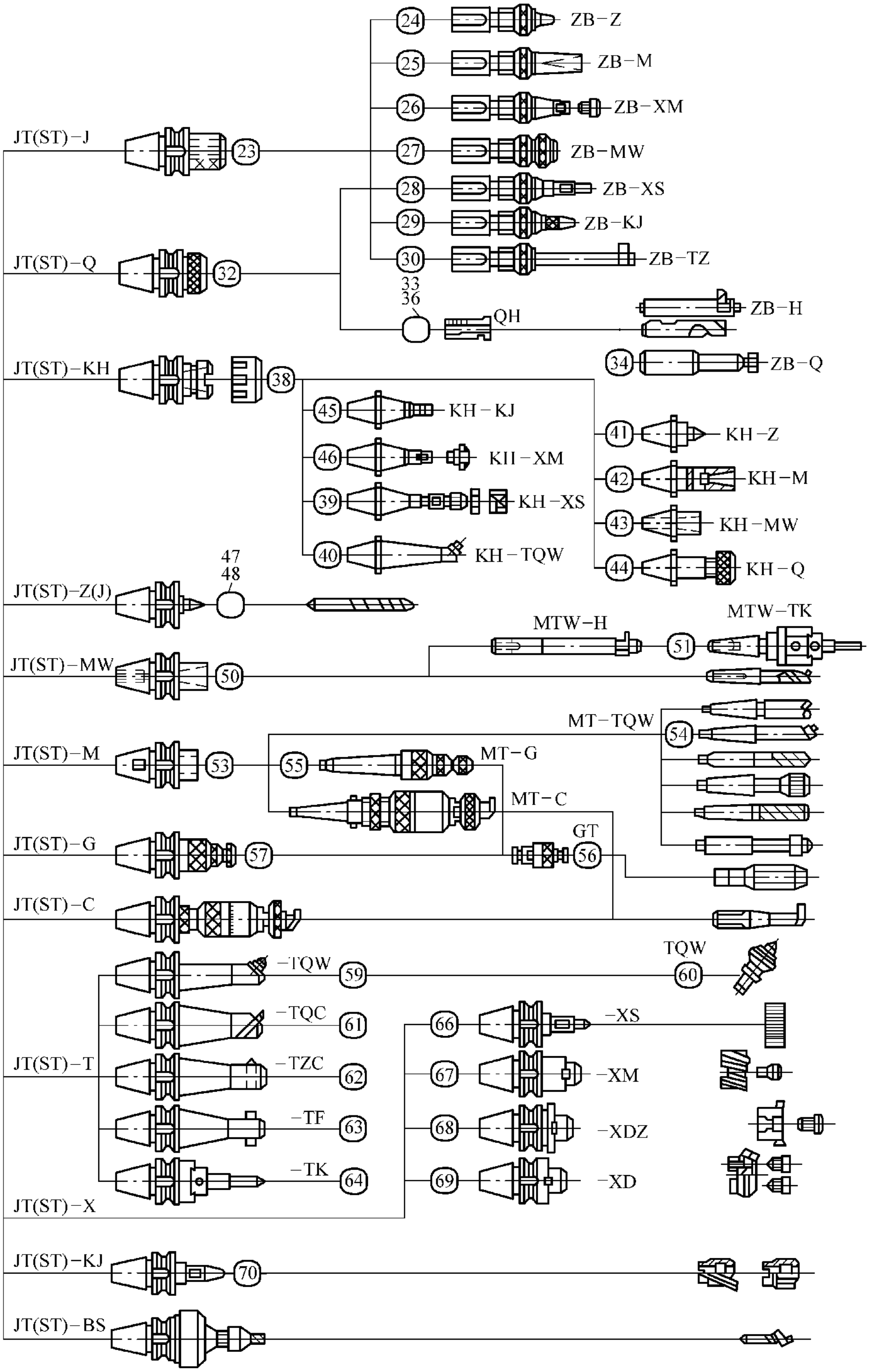


图 7-9　TSG82 工具系统

该刀具系统所包括的工具种类如下：

（1）接长杆刀柄及其接长杆　JT（ST）－J 接长杆刀柄可与 ZB－Z 直柄钻夹头接长杆等七种接长杆组合，在接长杆上再装配相应的通用工具（如莫氏短锥柄钻夹头）和标准刀具（如麻花钻、铰刀、铣刀等），就能组成各种不同用途的刀具，以适应加工工艺对刀具的需求。接长杆刀柄与接长杆组合的各种组合形式和主要用途分别如图 7-10 和表 7-13 所示。

表 7-13　接长杆刀柄和弹簧夹头刀柄与接长杆各种组合形式和主要用途

组合形式		主要用途
刀柄代号和名称	接长杆代号和名称	
JT（ST）－J 接长杆刀柄或 JT（ST）－Q 弹簧夹头刀柄	ZB－Z 直柄钻夹头接长杆	配莫氏短锥柄或贾氏锥柄的钻夹头
	ZB－M 带扁尾莫氏锥孔接长杆	装夹带扁尾莫氏锥柄的接杆或刀具
	ZB－XM 套式面铣刀接长杆	装夹套式面铣刀
	ZB－MW 无扁尾莫氏锥孔接长杆	装夹粗齿短柄立铣刀
	ZB－XS 三面刃铣刀接长杆	装夹三面刃立铣刀
	ZB－KJ 扩孔钻、铰刀接长杆	装夹扩孔钻、铰刀
	ZB－TZ 小直角镗刀接长杆	装夹镗刀块

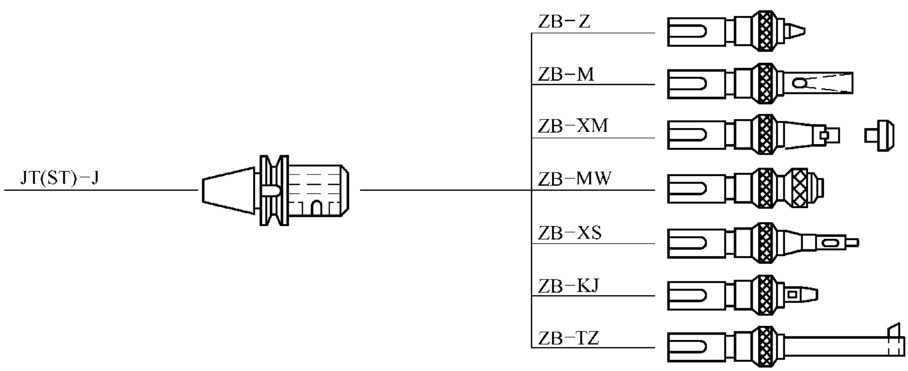


图 7-10　接长杆刀柄与接长杆的组合形式

（2）弹簧夹头刀柄及其接杆　弹簧夹头刀柄与各种接长杆、接杆、夹簧等工具的组合形式如图 7-11a 所示，图 7-11b 是弹簧夹头刀柄与夹簧、钻头的装配示意图。这种刀柄与各种接长杆和夹簧的各种组合形式和主要用途见表 7-14。

表 7-14　弹簧夹头刀柄与接杆和夹簧各种组合形式和主要用途

组合形式		主要用途	夹持直径/mm
刀柄	配装件		
JT（ST）－Q 弹簧夹头刀柄	QH 夹簧	装夹直柄刀具或 ZB－Q 夹头	6、8、10、12、20、25、32
	ZB－直柄小弹簧夹头＋LQ 外夹簧组件	装夹直柄刀具或 QH 内夹簧	6、8、10
	QH 夹簧＋ZB－直柄小弹簧夹头＋LQ 外夹簧组件	装夹直柄刀具或 QH 内夹簧	6、8、10
	QH 夹簧＋ZB－直柄小弹簧夹头＋LQ 外夹簧组件＋QH 内夹簧	装夹直柄刀具	3、4、5
	ZB－H 直柄倒锪端面镗刀	倒锪端面	
	QH 夹簧＋ZB－H 直柄倒锪端面镗刀		

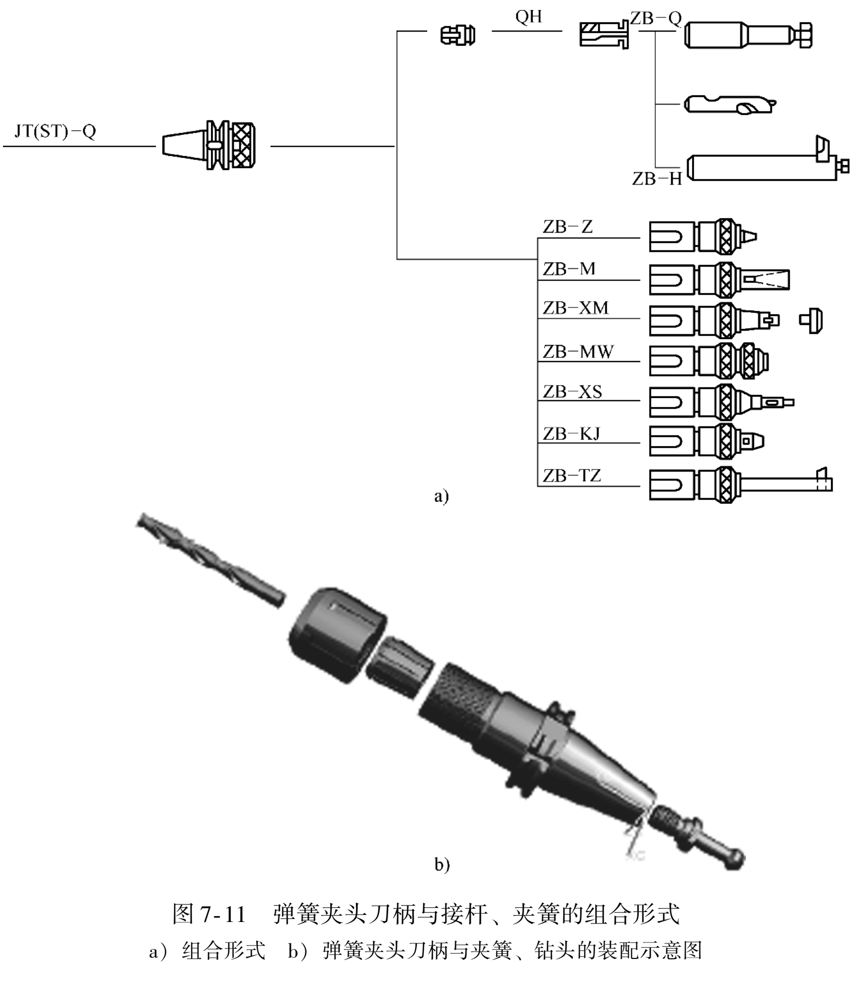


图 7-11　弹簧夹头刀柄与接杆、夹簧的组合形式

a）组合形式　b）弹簧夹头刀柄与夹簧、钻头的装配示意图

（3）7∶24 锥柄快换夹头刀柄及其接杆　7∶24 锥柄快换夹头刀柄及其接杆的组合形式如图 7-12 所示，其各种组合形式及用途见表 7-15。

表 7-15　7∶24 锥柄快换夹头刀柄及其接杆各种组合形式的用途

组合形式		主要用途
刀柄	接杆	
JT（ST）-KH 7∶24 锥柄快换夹头刀柄	KH-XS7∶24 圆锥快换三面刃铣刀接杆	装夹三面刃铣刀，铣刀直径为 50~80mm
	KH-TQW 快换倾斜微调镗刀接杆	装夹倾斜镗刀块
	KH-Z（J）7∶24 圆锥快换钻夹头接杆	配莫氏短锥或贾氏锥柄的钻夹头
	KH-M 带扁尾莫氏圆锥孔快换接套	装夹带扁尾莫氏锥柄的刀具或接杆
	KH-MW 无扁尾莫氏圆锥孔快换接套	装夹无扁尾莫氏锥柄的刀具或接杆
	KH-Q7∶24 圆锥快换弹簧夹头接杆	装夹直柄刀具或 QH 夹簧
	KH-KJ7∶24 圆锥快换扩孔钻、铰刀接杆	装夹扩孔钻、铰刀
	KH-XM7∶24 圆锥快换面铣刀接杆	装夹面铣刀，铣刀直径为 40~80mm

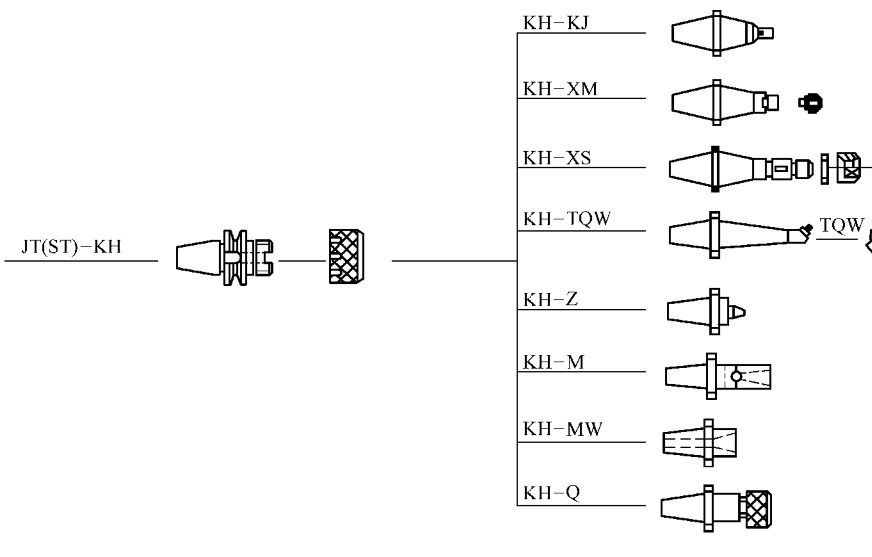


图 7-12　7∶24 锥柄快换夹头刀柄与各种接杆的组合形式

（4）钻夹头刀柄　钻夹头刀柄用于与莫氏短锥的钻夹头配装，标准中共有 24 种不同的规格尺寸，可用于装夹各种直柄刀具。图 7-13 所示为莫氏短圆锥钻夹头刀柄和整体式钻夹头刀柄。

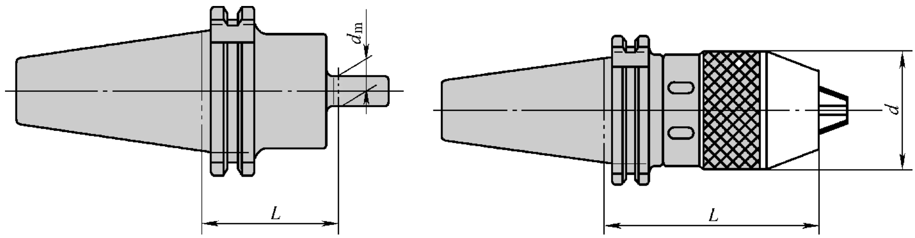


图 7-13　莫氏短圆锥钻夹头刀柄和整体式钻夹头刀柄

（5）无扁尾莫氏锥孔刀柄　无扁尾莫氏锥孔刀柄有 10 种规格，可装莫氏 1 ~5 号锥柄工具，如使用装带无扁尾莫氏锥柄的立铣刀进行槽铣削。图 7-14 所示为无扁尾莫氏圆锥孔刀柄 BT－MW。

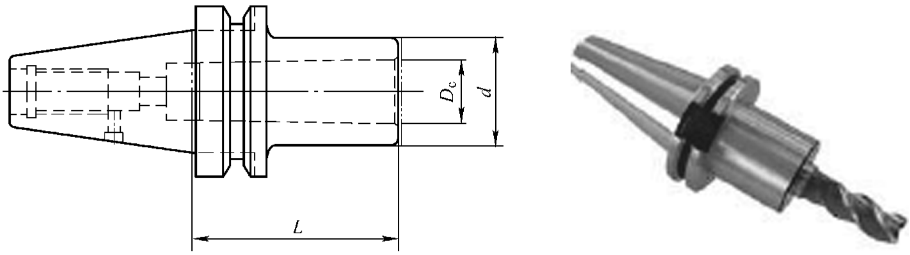


图 7-14　无扁尾莫氏圆锥孔刀柄 BT－MW

（6）有扁尾莫氏锥孔刀柄　有扁尾莫氏锥孔刀柄有 29 种规格，可装莫氏 1 ~5号锥柄工具，如使用有扁尾莫氏圆锥柄的镗刀进行镗孔；使用有扁尾莫氏圆锥柄的钻头进行钻孔。图 7-15 所示为有扁尾莫氏圆锥孔刀柄 BT－M。

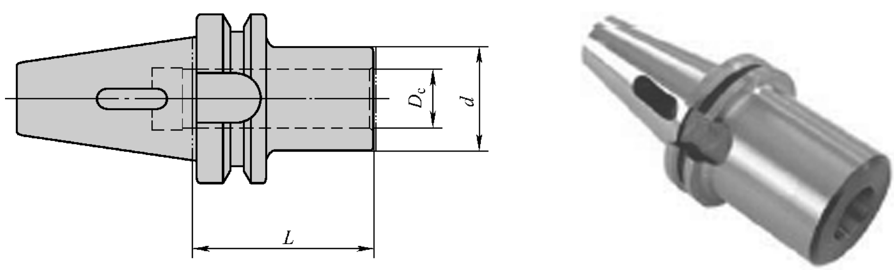


图 7-15　有扁尾莫氏圆锥孔刀柄 BT－M

（7）攻螺纹夹头刀柄　攻螺纹夹头刀柄可与 GT3、GT12 攻螺纹夹套配装，用于装夹丝锥。图 7-16 所示为攻螺纹夹头刀柄和丝锥夹套。

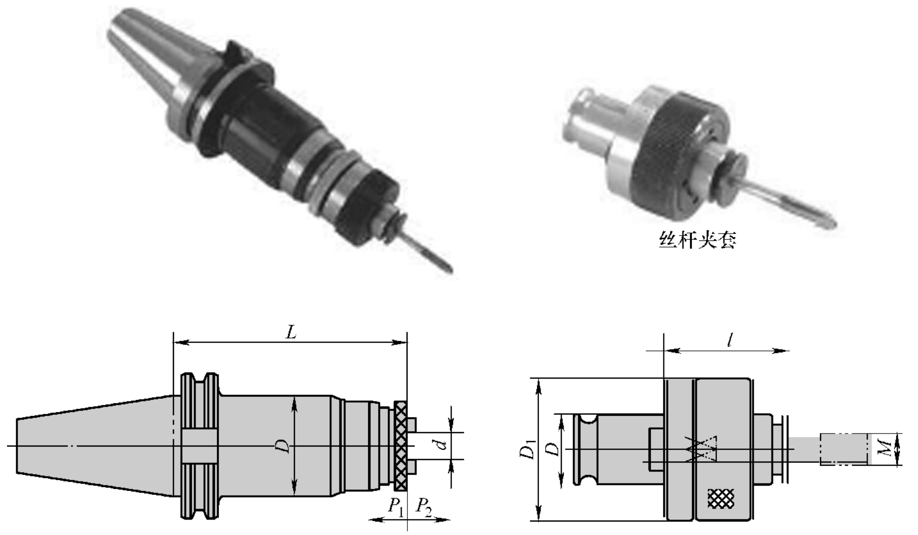


图 7-16　攻螺纹夹头刀柄和丝锥夹套

（8）镗刀类刀柄　TSG 工具系统中的镗刀类刀柄装上相应的镗刀头，可用于各种粗、精镗孔中。刀柄与镗刀头的组合形式及用途分别如图 7-17 和表 7-16 所示。

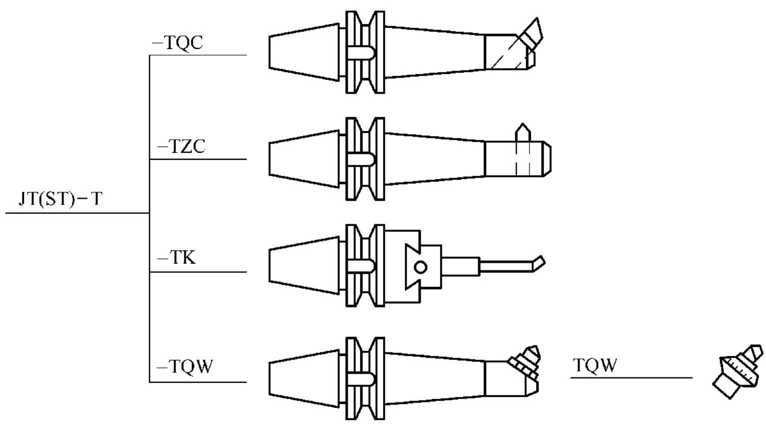


图 7-17　刀柄与镗刀头的组合形式

表 7-16　镗刀类刀柄与镗刀头各种组合形式及用途

组合形式		主要用途
刀柄	刀头	
JT（ST）-TQW 倾斜型微调镗刀柄	TQW 倾斜型微调镗刀头	精镗孔，加工范围 ϕ20 ~ 200mm
JT（ST）-TQC 倾斜型粗镗刀柄	TQC 倾斜型粗镗刀头	粗镗孔，加工范围 ϕ25 ~ 285mm
JT（ST）-TZC 直角型粗镗刀柄	TZC 直角型粗镗刀头	粗镗阶梯孔，加工范围 ϕ25 ~ 190mm
JT（ST）-TF 浮动铰（镗）刀柄	浮动镗刀块	精镗通孔，加工范围 ϕ30 ~ 230mm
JT（ST）-TK 可调镗刀头刀柄	镗刀头	镗孔，加工范围 ϕ5 ~ 165mm

（9）铣刀类刀柄　铣刀刀柄与铣刀组合形式如图 7-18 所示，用途见表 7-17。

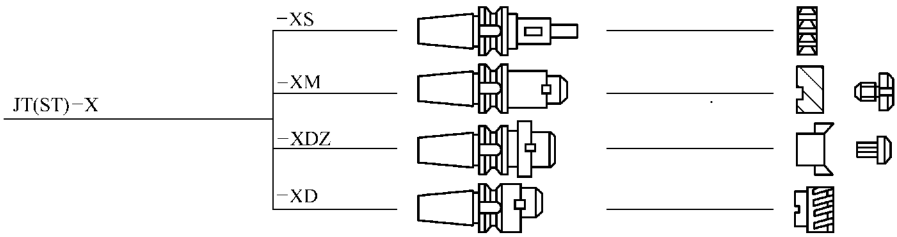


图 7-18　铣刀刀柄与铣刀组合形式

表 7-17　铣刀类刀柄的用途

刀柄种类	用途	铣刀直径范围
JT（ST）-XS 三面刃铣刀刀柄	装夹三面刃铣刀	ϕ50 ~ 200mm
JT（ST）-XM 套式面铣刀刀柄	装夹套式面铣刀	ϕ40 ~ 160mm
JT（ST）-XDZ 直角端铣刀刀柄	装夹端铣刀	ϕ50 ~ 100mm
JT（ST）-XD 端铣刀刀柄	装夹端铣刀	ϕ80 ~ 200mm
JT（ST）-KJ 套式扩孔钻和铰刀刀柄	装夹套式扩孔钻和铰刀	扩孔钻 ϕ25 ~ 90mm、铰刀 ϕ25 ~ 70mm

7.3.2　模块式工具系统

模块式工具系统是为了适应整体式工具系统规格和品种繁多，给生产、使用和管理带来诸多不便而发展起来的，是目前较普遍采用的工具系统。它的特点是

把整体式刀具分解成柄部、中间连接块、和工作头三个部分，并制成各种系列化的模块，借助于不同规格的中间模块组装成不同用途、不同规格的模块式工具，从而方便了制造、使用和保管，减少了工具储备，增加了工具系统柔性。

目前，世界上模块式工具系统不下几十种，它们之间的区别主要在模块连接的定心方式和锁紧方式不同。然而，不管哪种模块式工具系统都是由主柄模块、中间模块和工作模块三个基本模块组成，模块之间借助圆锥（或圆柱）配合，通过适当组合三个模块和刀具，可以组装成满足特定加工要求的成套刀具，如图7-19 所示。

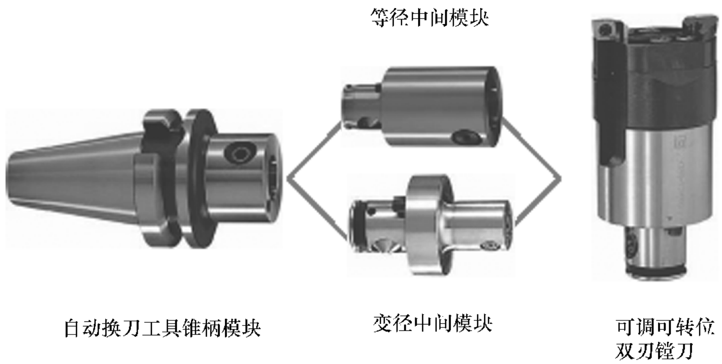


图 7-19　三个基本模块组合

主柄模块的主要功能是其柄部与机床主轴相连接，起到刀具定位和传递主轴力、转矩和运动的作用，端部能与中间模块或工作模块或整体刀具相连接。主柄模块与机床主轴连接的7∶24 锥柄和供换刀机械手夹持部分已标准化（见表7-2 ~ 表 7-4）。

中间模块的主要功能是在主柄模块与工作模块、专用工具之间起适配和接装的作用。中间模块有等径中间模块和变径中间模块，可进行长度和直径组合。

工作模块是接装刀具的模块，它分为三大类，其特点见表 7-18。

表 7-18　工作模块的特点

类型	特　　点
安装标准工具模块	根据刀具类型、安装方式的不同，这类模块一般包括以下工作模块： ① 弹簧夹头模块，可装夹圆柱柄刀具 ② 莫氏圆锥孔模块，可装夹莫氏锥柄的刀具，分为有扁尾莫氏圆锥孔模块和无扁尾莫氏圆锥孔模块 ③ 侧向加紧圆柱柄立铣刀模块，可装夹削平柄铣刀和削斜柄立铣刀 ④ 攻螺纹夹头模块 ⑤ 装面铣刀模块 ⑥ 装带孔三面刃铣刀模块，可安装如三面刃一类的槽铣刀或带孔铣刀

（续）

类型	特　点
整体式刀具模块	工作模块和刀具制成一体，其柄部是特定工具系统的统一形式，头部是切削刀具，通常是非标准的较大规格的铣刀、镗刀或扩孔钻等刀具，例如球头立铣刀、可调镗刀、扩孔钻等
专用工具模块	安装专用工具的模块，例如安装触发式测头的工具模块

1. TMG 工具系统的类型

国内镗铣类模块工具系统用其汉语“镗铣类”“模块式”“工具系统”三个词的大写拼音字头 TMG 来表示，为了区别各种结构不同的模块式工具系统，在 TMG 之后加上两位数字，以表示结构特征，如 TMG10、TMG13、TMG14、TMG21、TMG22、TMG50 等，这两位数字的含义规定详见表 7-19。具有代表性是 TMG21 工具系统，图 7-20 所示为 TMG21 模块式工具系统。

表 7-19　TMG 模块式工具系统接口的定心和锁紧方式代号

十位数字代号	模块连接的定心方式	个位数字代号	模块连接的锁紧方式
1	短圆锥定心	0	中心螺钉拉紧
2	单圆柱面定心	1	径向销钉锁紧
3	双键定心	2	径向楔块锁紧
4	端齿啮合定心	3	径向双头螺栓锁紧
5	双圆柱面定心	4	径向单侧螺钉锁紧
		5	径向两螺钉垂直方向锁紧
		6	螺纹连接锁紧

2. TMG 工具系统连接结构的定位方式和特点

模块连接常见的定位方式有两种：一种是以短圆锥定位，如图 7-21 所示，其特点是模块装拆方便，定心精度高，模块的设计和制造精度可以是模块在夹紧以后能同时消除锥面和法兰端面的间隙，并有一定的变形量，产生预紧力。另一种是以圆柱面定位，如图 7-22 所示，这种定位方式能可靠地实现连接法兰端面的无间隙接触，产生较大的预紧力，连接刚度高，传递转矩大。

夹紧方式分轴向拉紧和径向顶紧两种。轴向拉紧是通过轴向螺钉或拉杆将模块连接，回转时，刀具稳定性好，但模块装卸不便。径向顶紧是通过径向拧紧螺钉，借助楔块、钢球等零件产生轴向拉紧作用将模块连接，模块装卸方便。

图 7-22 所示为 TMG21 工具系统夹紧结构图，其加紧机构主要由外锥端螺钉、滑销、内锥端螺钉三元件构成。使用时先拧紧内锥端螺钉，当用外力拧紧外锥端螺钉时，滑销带动刀具向左移动，贴合面之间产生巨大的正压力使刀柄与刀具紧密连接起来。

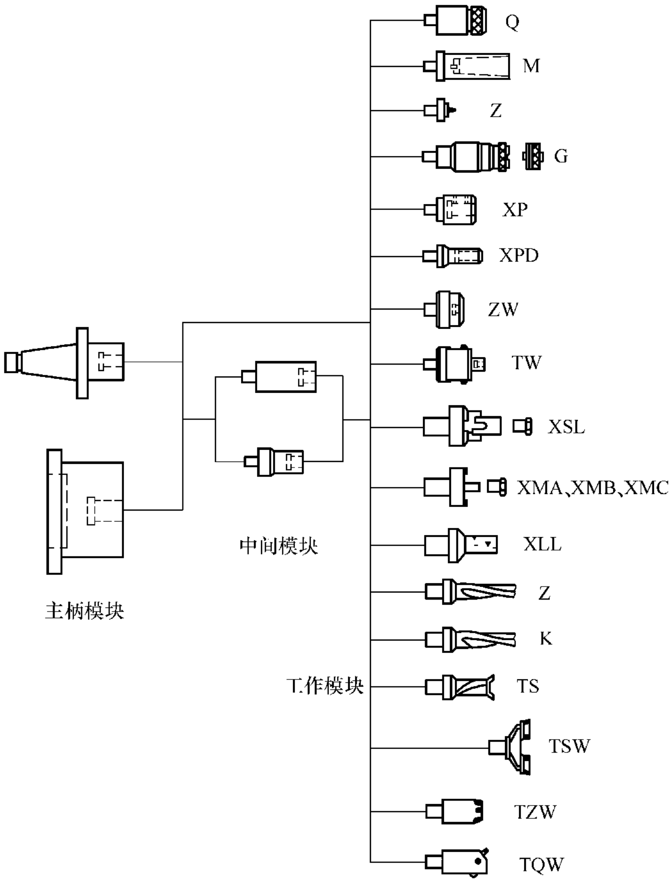


图 7-20　TMG21 模块式工具系统

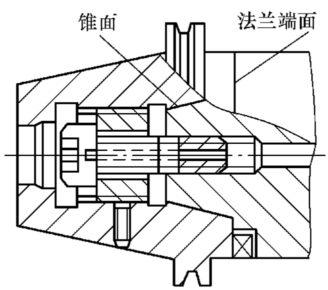


图 7-21　短圆锥定位

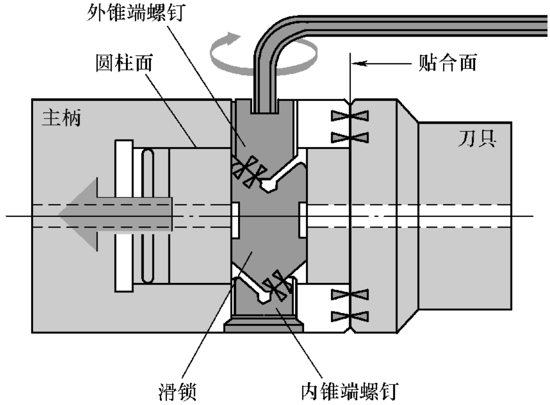


图 7-22　TMG21 工具系统夹紧结构

3. TMG 工具系统模块型号的表示方法

（1）主柄模块型号　由代表一定含义的字母和数字组合而成，共有 7 个号位并在特定位置用圆点和短线分隔开，如图 7-23 所示。

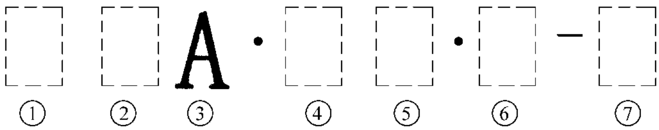


图 7-23　主柄模块型号组成

1）第一号位用阿拉伯数字表示模块连接的定心方式。代号规定见表 7-19。

2）第二号位用阿拉伯数字表示模块连接的锁紧方式。代号规定见表 7-19。

3）第三号位用字母 A 表示此模块为主柄。

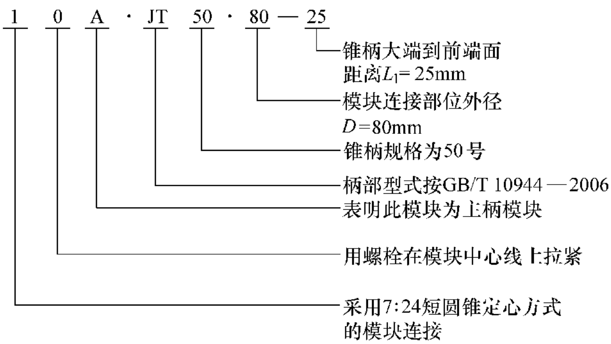
4）第四号位用两个字母表示柄部形式。字母代号如 JT、BT 和 ST 等。

5）第五号位用两位数字表示柄部的锥度代号。

6）第六号位表示模块相连接处的外径。

7）第七号位表示从圆锥大端直径到前端面的距离。

主柄型号示例如下：



（2）中间模块型号　以六个号位组成，如图 7-24 所示。在特定位置用圆点、斜线和短线分隔开。各号位分别表示的内容如下：

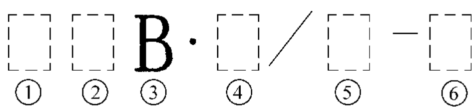


图 7-24　中间模块型号组成

1）第一号位表示的内容同主柄模块第一号位。

2）第二号位表示的内容同主柄模块第二号位。

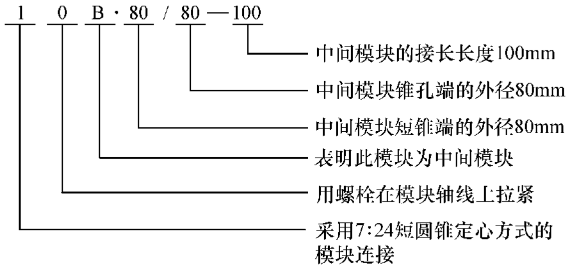
3）第三号位用字母 B 表示此模块为中间模块。

4）第四号位表示短锥端的模块外径。

5）第五号位表示锥孔端的模块外径。

6）第六号位表示此中间块的接长长度。

中间模块型号示例如下：



（3）工作模块型号　工作模块型号由七个号位组成，如图 7-25 所示，在特定位置用圆点和短线分隔开。各号位分别表示的内容如下：

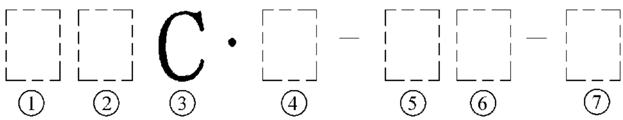


图 7-25　工作模块型号组成

1）第一号位表示的内容同主柄模块第一号位。

2）第二号位表示的内容同主柄模块第二号位。

3）第三号位用字母 C 表示此模块是工作模块，用来装夹不同的刀具。

4）第四号位表示短锥端的模块外径。

5）第五号位表示此工作模块的用途，见表 7-20。

6）第六号位表示此工作模块的规格号，其含义见表 7-20。

7）第七号位表示工作模块的有效长度。

工作模块型号示例如下：

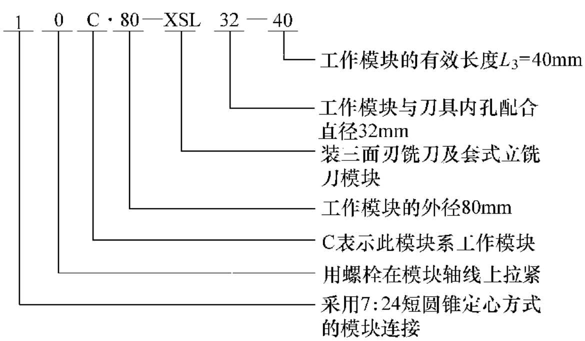


表 7-20　工作模块用途代号及规格号的含义

序号	名称	用途代号	规格号的含义
1	弹簧夹头模块	Q	最小夹持直径
2	无扁尾莫氏圆锥孔模块	MW	莫氏锥孔号
3	有扁尾莫氏圆锥孔模块	M	莫氏锥孔号
4	装钻夹头短锥模块	Z	莫氏短锥号
		ZJ	贾氏短锥号
5	攻螺纹夹头模块	G	最小攻螺纹规格
6	装三面刃铣刀、套式立铣刀模块	XSL	刀具内孔直径
7	装面铣刀模块	XMA XMB XMC	刀具内孔直径
	装 A 类面铣刀模块		
	装 B 类面铣刀模块		
	装 C 类面铣刀模块		
8	双刃镗刀模块	TS	最小镗孔直径
9	倾斜微调镗刀模块	TQW	最小镗孔直径
10	直角粗镗刀模块	TZC	最小镗孔直径
11	倾斜粗镗刀模块	TQC	最小镗孔直径
12	浮动铰刀模块	JF	浮动铰刀块宽度
13	装扩孔钻、铰刀模块	KJ	1∶30 锥度大端直径
14	可调镗刀架模块	TK	装刀孔直径
15	削平圆柱柄铣刀模块	XP	装刀孔直径

7.4　数控车削工具系统

数控车床工具系统是车床刀架与刀具之间的连接环节总称，它的作用是使刀具能快速更换和定位及传递回转刀具所需的回转运动。数控车床的刀架有多种形式，且各公司生产的车床，其刀架结构各不相同，所以各种数控车床所配的工具系统也各不相同。

我国大多数数控车床上所使用车刀，除采用可转位车刀的比率和可转位车刀刀体、刀片的精度略高以外，与普通车床上使用的车刀区别不大。因此，至今未能形成我国完整的车削类工具系统。

7.4.1　数控车削整体式工具系统的特点

目前在我国较为普及的数控车削整体式工具系统是 CZG 车削工具系统，如

图 7-26 所示，在国际上它等同于德国标准 DIN 69880。

CZG 车削工具系统与数控车床刀架连接的柄部是由一个与其轴线垂直的齿条圆柱和法兰组成，如图 7-27 所示。在数控车床的刀架上，安装刀夹柄部圆柱孔的侧面有一个由螺栓带动的可移动楔形齿条，该齿条与刀夹柄部上的齿条相啮合，并有一定的错位。由于存在这个错位，当旋转螺栓，楔形齿条径向压紧刀夹柄部的同时，使柄部的法兰紧密地贴紧在刀架的定位面上，并产生足够的拉紧力。这种结构具有刀夹装卸操作简便、快捷，刀夹重复定位精度高，连接刚度高等优点。

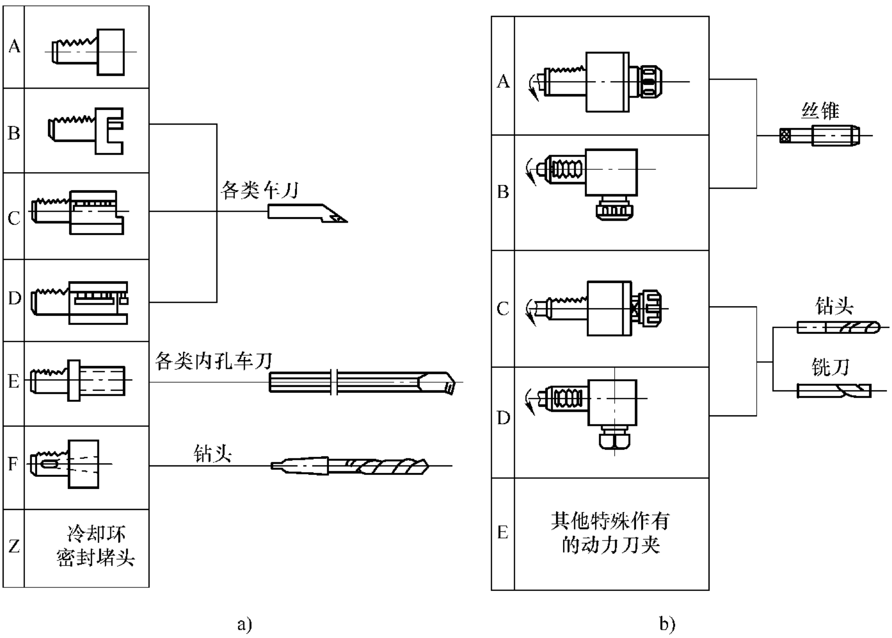


图 7-26　CZG 车削工具系统（DIN 69880）

a）非动力刀夹组合形式　b）动力刀夹组合形式

7.4.2　数控车削模块式工具系统的特点

数控模块式车削工具系统如图 7-28 所示，其特点如下。

1）一般只有主柄模块和工作模块，较少使用中间模块，以适应车削中心较小的切削区空间，并提高工具的刚性。

2）主柄模块有较多的结构型式。根据刀具安装方向的不同，有径向模块和轴向模块；根据加工的需要，有装夹车刀的非动力式模块，也有安装钻头、立铣刀并使其回转的动力式模块；根据刀具与主轴相对位置的不同，有右切模块和左

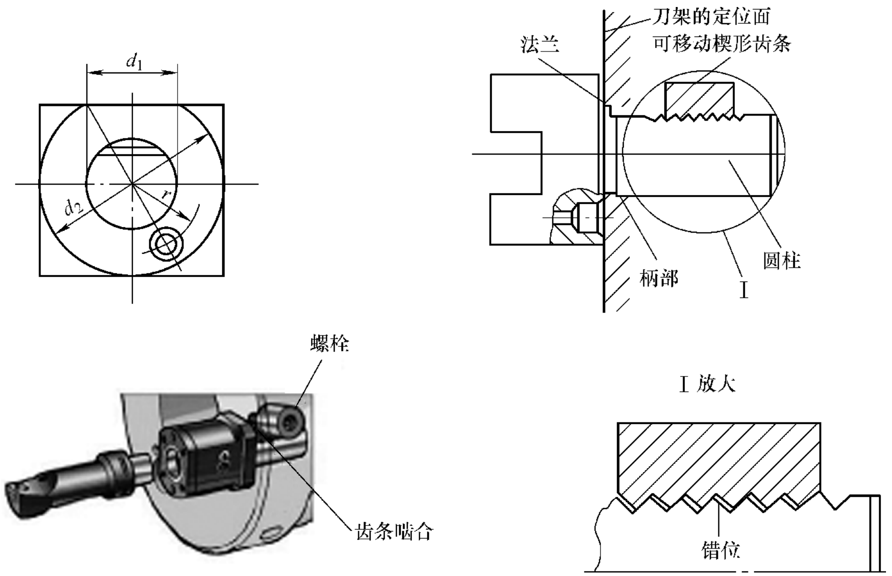


图 7-27　CZG 车削工具系统柄部形状

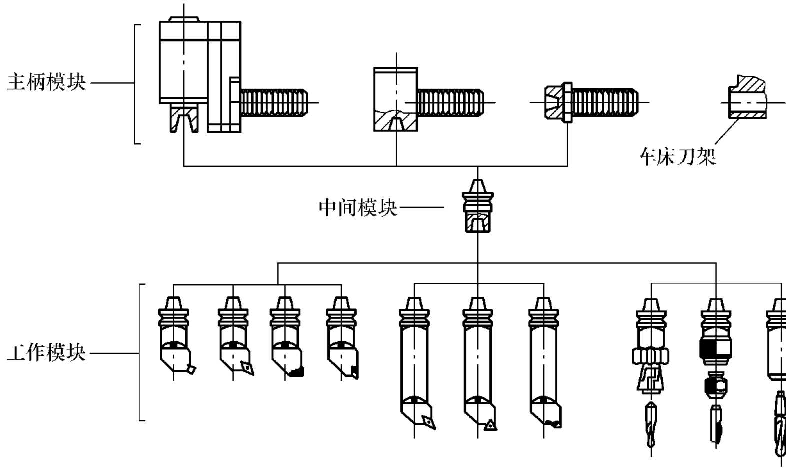


图 7-28　数控模块式车削工具系统

切模块。此外，根据机床换刀方式的不同，有手动换刀模块或自动换刀模块。主柄模块通常都有切削液通道。

3）工作模块主要有两大类型：一类是连接柄和刀体制成一体的各种刀具模块，例如用于外圆、端面、镗孔、钻孔、切槽等加工的刀具模块；另一类是用于装夹钻头、丝锥、铣刀等标准工具或专用工具的夹刀模块。工作模块是换刀的更

换单元，在结构上一般具备机械手夹持的部位、安装刀具识别磁片的部位，以适应自动换刀车削中心的需要。

车削工具系统模块连接结构的设计与加工中心工具系统模块连接结构的要求相同，图 7-29 所示为山特维克可乐满（Sandvik Coromant）典型车削系统及夹紧方式。

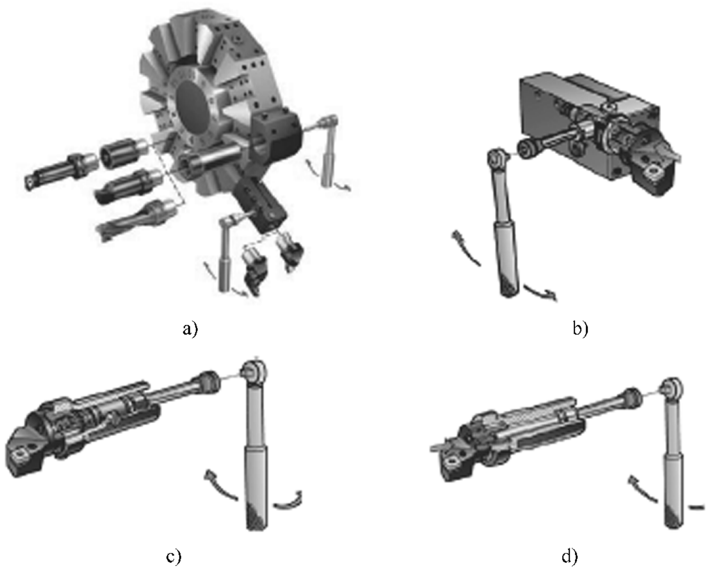


图 7-29　山特维克可乐满（Sandvik Coromant）典型车削系统及夹紧方式

a）可乐满圆刀柄快换刀具系统　b）凸轮驱动拉杆加紧　c）螺钉驱动拉杆　d）中心螺钉拉紧

参 考 文 献

[1] 袁哲俊，刘华明．孔加工刀具、铣刀、数控机床用工具系统［M］．北京：机械工业出版社，2009.

[2] 徐宏海．数控机床刀具及其应用［M］．北京：化学工业出版社，2010.

[3] 陈云，杜齐明，董万福．现代金属切削刀具实用技术［M］．北京：化学工业出版社，2008.

[4] 沈志雄，徐福林．金属切削原理与数控机床刀具［M］．上海：复旦大学出版社，2012.

[5] 罗辑．数控加工工艺及刀具［M］．重庆：重庆大学出版社，2006.

[6] 邓建新，赵军．数控刀具材料选用手册［M］．北京：机械工业出版社，2005.

[7] 陆剑中，孙家宁．金属切削原理与刀具［M］．5 版．北京：机械工业出版社，2011.

[8] 刘杰华．金属切削与刀具实用技术［M］．北京：国防工业出版社，2006.

[9] 侯立中，解晓东．平装可转位铣刀的合理选用［J］．工具技术，2001（35）：42－44.

[10] 郑险峰，李晓双．可转位铣刀的合理选用［J］．工具技术，1999（33）：35－38.

[11] 章宗城．车削可转位刀片的选择［J］．刀具，2003（5）：21－23.

[12] 刘战强，黄传真，郭培全．先进切削加工技术及应用［M］．北京：机械工业出版社，2005.



ISBN 978-7-111-32558-1



ISBN 978-7-111-27330-1

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术／机械工程／机械加工
ISBN 978-7-111-46100-5
策划编辑◎周国萍 ／封面设计◎陈沛
ISBN 978-7-111-46100-5
定价：35.00元